

**CARACTERIZACION PETROGRAFICA Y DE DIFRACCIÓN DE RAYOS “X”  
PARA ESTABLECER LAS AREAS DE INTERES EN LAS ZONAS DE  
EXPLOTACION DE PUZOLANAS DEL MUNICIPIO DE IZA BOYACÁ**

**INTEGRANTES**

**ANGIE NATHALIA SIERRA ESPINOSA  
ROSALBA PEREZ TORRES**

**UNIVERSIDAD PEDAGÓGICA Y TECNOLOGÍA DE COLOMBIA  
FACULTAD SEDE SECCIONAL SOGAMOSO  
ESCUELA DE INGENIERÍA GEOLÓGICA  
SOGAMOSO  
2017**

**CARACTERIZACION PETROGRAFICA Y DE DIFRACCIÓN DE RAYOS “X”  
PARA ESTABLECER LAS AREAS DE INTERES EN LAS ZONAS DE  
EXPLOTACION DE PUZOLANAS DEL MUNICIPIO DE IZA BOYACÁ**

**Trabajo de grado presentado como  
Requisito parcial para optar al título de  
Ingeniero Geólogo**

**Modalidad Monografía**

SVITLANA NOSACH\_Directora de tesis  
Docente Universidad Pedagógica y Tecnológica de Colombia Seccional  
Sogamoso

UNIVERSIDAD PEDAGÓGICA Y TECNOLOGÍA DE COLOMBIA  
FACULTAD SEDE SECCIONAL SOGAMOSO  
ESCUELA DE INGENIERÍA GEOLÓGICA  
SOGAMOSO  
2017

Nota de Aceptación

---

---

---

---

Presidente del Jurado

---

Jurado

---

Jurado

Sogamoso, 16 de Agosto 2017

*Agradezco a mis padres Luis Pérez y Elba Torres quien con su amor y dedicación son la raíz de mi vida, a Chela, Lola, Wil y Mono, quienes son el tronco de mis alegrías, a mis sobrinos, que son las flores de mi alma. A mis amigas quienes son las hojas de mis sueños, a mis compañeras de trabajo en especial a Bethy quienes son pilares para mis sueños y metas.*

*A mis dos hermanas Chela y Lola quienes me han enseñado que las metas se logran con dedicación y sacrificio, que todo en la vida se logra si se quiere, a ellas gracias por sus palabras día a día.*

*A mi compañera y amiga: Nathalia, quien camino y soñó para lograr esta meta, con sus entusiasmo, alegría, constancia y dedicación. A su familia por su entusiasmo y constancia para ayudarnos a sacar este proyecto adelante.*

*A mis amigas Valeria, Nathalia, Sofia, Chelo, Yesica, Juana, Karen y Roció, quienes en este camino me han acompañado y brindado su cariño.*

*A Andrea Vargas quien ha estado en estos últimos semestres apoyándome constantemente, y me ha enseñado que aunque los días sean grises hay que disfrutarlos y ver lo bonito de ellos.*

*Ya todos a aquellos que encontré en mi camino y dejaron buenos recuerdos gracias por ser parte de esta ruta que con cariño recorrí.*

*Rosalba*

*Dedico esta tesis a Dios quien ha guiado cada uno de mis pasos dándome la oportunidad de llegar hasta este punto.*

*A mis padres María Teresa Espinosa Colina y Henry Sierra Guauque que siempre me apoyaron incondicionalmente, quienes me motivaron para realizar mis sueños y cultivar en mí los valores necesarios que me ayudaron a formarme como una persona íntegra, capaz, honesta y sobre todo humilde.*

*A mis hermanos Allison Sierra y Sebastian Sierra, por cada uno de los momentos compartidos porque ellos son ese motor que me impulsa a salir adelante.*

*A mis maestros, por brindarme sus conocimientos, a aquellos que siempre estuvieron dispuestos a colaborar en mi aprendizaje.*

*A mis amigos, las personas que han estado en mi camino, gracias por aportar un granito de arena a mi vida, a esos seres humanos que siempre me brindaron su amistad sincera Alba López, Ricardo Sierra, Harrison Penagos, Rosalba Pérez, Lorena Díaz y Yudy Ruiz, con quienes he compartido momentos únicos y a una persona en especial Sebastian Acevedo quien llego a mi vida para motivarme a ser cada día mejor.*

*Angie Nathalia*

## **AGRADECIMIENTOS**

A la Universidad Pedagógica y Tecnológica de Colombia, por encaminarnos en nuestra futura profesión, para así desempeñar un buen papel como profesionales integrales.

A la Geóloga, Svitlana Nosach, por su disposición, por estar presta a colaborarnos en el proceso de aprendizaje.

Al Ingeniero Wilson Enario Naranjo, por su apoyo en el desarrollo del proyecto.

A nuestros profesores, por darnos las herramientas y aporte de conocimientos para nuestro crecimiento intelectual y profesional, por su paciencia y buena disposición.

A las personas que siempre han estado acompañando nuestro camino, a aquellos que guiaron nuestro aprendizaje.

A nuestros amigos esas personas que siempre estuvieron para motivarnos a salir adelante.

## CONTENIDO

<b>ANEXOS 10</b>	
<b>INTRODUCCIÓN.....</b>	<b>11</b>
<b>OBJETIVOS.....</b>	<b>12</b>
<b>OBJETIVO GENERAL .....</b>	<b>12</b>
<b>OBJETIVOS ESPECIFICOS .....</b>	<b>12</b>
<b>1 GENERALIDADES .....</b>	<b>13</b>
1.1 LOCALIZACION.....	13
1.2 DESARROLLO DEL PROYECTO .....	14
1.3 ANTECEDENTES.....	14
<b>2 GEOLOGIA.....</b>	<b>16</b>
2.1 GEOLOGIA REGIONAL.....	16
2.1.1 TECTONICA.....	16
2.1.2 ESTRATIGRAFIA.....	17
2.1.2.1 FORMACION LABOR Y PINOS (Ksgp).....	18
2.1.2.2 FORMACION ARENISCA TIERNA (Ksgt).....	18
2.1.2.3 FORMACION GUADUAS (Tkg).....	19
2.1.2.4 FORMACION ARENISCAS DE SOCHA (Pgars) .....	19
2.1.2.5 FORMACION ARCILLAS DE SOCHA (Pgas) .....	19
2.1.2.6 FORMACION PICACHO (Tp) .....	20
2.1.2.7 CUATERNARIO ALUVIAL (Qal) .....	20
2.1.2.8 RIOLITA (Tri) .....	20
2.2 TOMA DE MUESTRAS .....	21
2.2.1 MUESTREO EN CAMPO.....	21
2.3 GEOLOGIA LOCAL .....	24
2.3.1 FORMACION LABOR Y PINOS (Ksgp).....	25
2.3.2 FORMACION GUADUAS (K2K6g) .....	25
2.3.3 RIOLITA (N2n9) .....	26
<b>3 CARACTERSTICAS QUIMICAS Y MINERALOGICAS .....</b>	<b>26</b>
3.1 REQUISITOS QUÍMICOS DE LA PUZOLANA DENTRO DE LA INDUSTRIA CEMENTO.....	26
3.2 ANALISIS MINERALOGICO .....	27
3.2.1 EQUIPO, MATERIALES Y METODOS.....	27
3.2.2 PETROGRAFIA.....	28
3.3 CARACTERÍSTICAS PETROGRÁFICAS DE LAS PUZOLANAS.....	28
3.4 RESULTADOS POR PETROGRAFIA .....	29
3.5 METODO DE DIFRACCION DE RAYOS “X” .....	33
3.5.1 EQUIPO Y MATERIAL .....	34
3.6 RESULTADOS POR DIFRACCION DE RAYOS X .....	38
<b>4 CLASIFICCION DE AREAS DE INTERES PARA LA EXPLOTACIÓN DE PUZOLANAS.....</b>	<b>48</b>
<b>5 CONCLUSIONES .....</b>	<b>54</b>
<b>6 RECOMENDACIONES .....</b>	<b>55</b>
<b>Bibliografía.....</b>	<b>56</b>
<b>7 ANEXOS.....</b>	<b>58</b>

## LISTA DE FIGURAS

ANEXO A. Clasificación de concentración de material amorfo por DRX .....	10
ANEXO B. Clasificación de concentración de material amorfo por petrografía .....	10
Figura 1. <i>Localización geográfica del domo volcánico de Iza. El recuadro azul muestra la ubicación dentro del área de estudio.</i> .....	13
Figura 2. <i>Metodología del proyecto.</i> .....	14
Figura 3. Geología regional.....	17
Figura 4. malla de muestreo .....	21
Figura 5. Proceso de realización de una probeta .....	23
Figura 6. Cuerpo volcánico de Iza .....	24
Figura 7. Vista microscópica de minerales, muestra F11. ....	31
Figura 8. Imagen en sección delgada muestra H9. ....	32
Figura 9. Imagen en sección delgada muestra B6. ....	32
Figura 10. Vista microscópica de minerales, muestra B9 .....	32
Figura 11. Vista microscópica de minerales, muestra B9 .....	33
Figura 12. Relación del tamaño de los cristales y la difracción .....	34
Figura 13. Esquema de Bragg para la reflexión en distintas familias de planos, $d$ , $d_1$ , $d_2$ , que corresponden a los espaciados reticulares $dhkl$ . de índices de Millar ( $hkl$ ).....	35
Figura 14. Patrón puro y el patrón con la adición del material estándar .....	37
Figura 15. Difractograma de la muestra B6.....	39
Figura 16. Difractograma de la muestra D9. ....	40
Figura 17. Difractograma de la muestra H11. ....	41
Figura 18. Difractograma de la muestra B15.....	42
Figura 19. Difractograma de la muestra B9.....	43
Figura 20. Difractograma de la muestra D3. ....	44
Figura 21. Difractograma de la muestra D6. ....	45
Figura 22. Difractograma de la muestra H9. ....	46
Figura 23. Difractograma de la muestra D6. ....	47
ANEXO A. Clasificación de concentración de material amorfo por DRX .....	58
ANEXO B. Clasificación de concentración de material amorfo por petrografía .....	59
ANEXO C. Clasificación de concentración de sílice por DRX .....	60
ANEXO E. clasificación de concentración de material arcilloso por Petrografía...	62
ANEXO F. clasificación de concentración de material arcilloso por DRX .....	63



## INDICE DE FOTOS

<b>Foto 1.</b>	Formación Labor y Pinos. ....	25
<b>Foto 2.</b>	Formación guaduas .....	25
<b>Foto 3.</b>	Cantera de explotación de Puzolana.....	26
<b>Foto 4.</b>	Muestra H9 de puzolana, a la izquierda en roca y a la derecha disgregada con la maño. ....	29
<b>Foto 5.</b>	equipos X'Pert PRO de PANALYTICAL.....	35

## INDICE DE TABLAS

Tabla 1.	Coordenadas de los puntos de muestreo Iza Boyacá- fuente: autores.	22
Tabla 2.	Resultados obtenidos por petrografía- Fuente: autores.....	30
Tabla 3.	Porcentaje de minerales por difracción de rayos x .....	38
Tabla 4.	Correlación mineralógica y DRX de la muestra con código D3. ....	48
Tabla 5.	Correlación mineralógica y DRX de la muestra con código B6.....	49
Tabla 6.	Correlación mineralógica y DRX de la muestra con código B9.....	49
Tabla 7.	Correlación mineralógica y DRX de la muestra con código B15.....	50
Tabla 8.	Correlación mineralógica y DRX de la muestra con código D6. ....	50
Tabla 9.	Correlación mineralógica y DRX de la muestra con código D9. ....	51
Tabla 10.	Correlación mineralógica y DRX de la muestra con código F11.....	51
Tabla 11.	Correlación mineralógica y DRX de la muestra con código H9. ....	52
Tabla 12.	Correlación mineralógica y DRX de la muestra con código H11. ....	52

## **ANEXOS**

ANEXO A. Clasificación de concentración de material amorfo por DRX

ANEXO B. Clasificación de concentración de material amorfo por petrografía

ANEXO C. Clasificación de concentración de sílice por DRX

ANEXO D. Clasificación de concentración de sílice por Petrografía

ANEXO E. Clasificación de concentración de material arcilloso por Petrografía

ANEXO F. Clasificación de concentración de material arcilloso por DRX

## INTRODUCCIÓN

El presente proyecto tuvo como objetivo establecer las áreas de mayor interés para la explotación de puzolanas del municipio de Iza Boyacá que permitan la explotación óptima de las Riolitas.

Geológicamente el área se encuentra dentro de la formación Riolitas de Iza (N2n9) las cuales están intruyendo en el techo del grupo Guadalupe (K2g) y está delimitada al NW por las formaciones labor y pinos (Ksgp) seguida de la formación arcillas de Socha (Tss) y delimitadas al NE por un cuaternario aluvial Qal.

Se caracteriza por Riolitas ricas de sílice pobres de hierro; presenta colores claros entre blancos y grises relacionados con rocas acidas con una textura afanática lo cual impide la identificación de minerales macroscópicamente y no presentan brillo; esta roca no reacciona al ácido clorhídrico lo que indica la ausencia de carbonatos.

El proyecto determinó que las muestras H11, F11 y B15, ubicadas al costado NE y SE de la malla de muestreo, presentan un porcentaje de amorfo superior al 50% indicando que las muestras son óptimas para la fabricación del cemento.

## **OBJETIVOS**

### **OBJETIVO GENERAL**

- Caracterizar las rocas del Domo de Iza por petrografía y DRX estableciendo áreas de del interés para la explotación.

### **OBJETIVOS ESPECIFICOS**

- Realizar el modelo geológico del área de estudio.
- Caracterizar petrográficamente y por DRX las rocas puzolánicas.
- Establecer las áreas de mayor interés para la explotación de puzolanas.

# 1 GENERALIDADES

## 1.1 LOCALIZACION

La zona de estudio se restringe a la cantera de puzolana ubicada en la zona Axial de la Cordillera Oriental de Colombia, en el altiplano Cundí-Boyacense, en la vereda Agua caliente, a 0.7 km al occidente del casco urbano del municipio de Iza.

El desarrollo del trabajo de campo se realizara en la mina de puzolana de la empresa Holcim Colombia S.A ubicada en Iza-Boyacá; estableciendo las rocas puzolánicas con las condiciones apropiadas para la fabricación del cemento tipo I.

Figura 1. *Localización geográfica del domo volcánico de Iza. El recuadro azul muestra la ubicación dentro del área de estudio.*

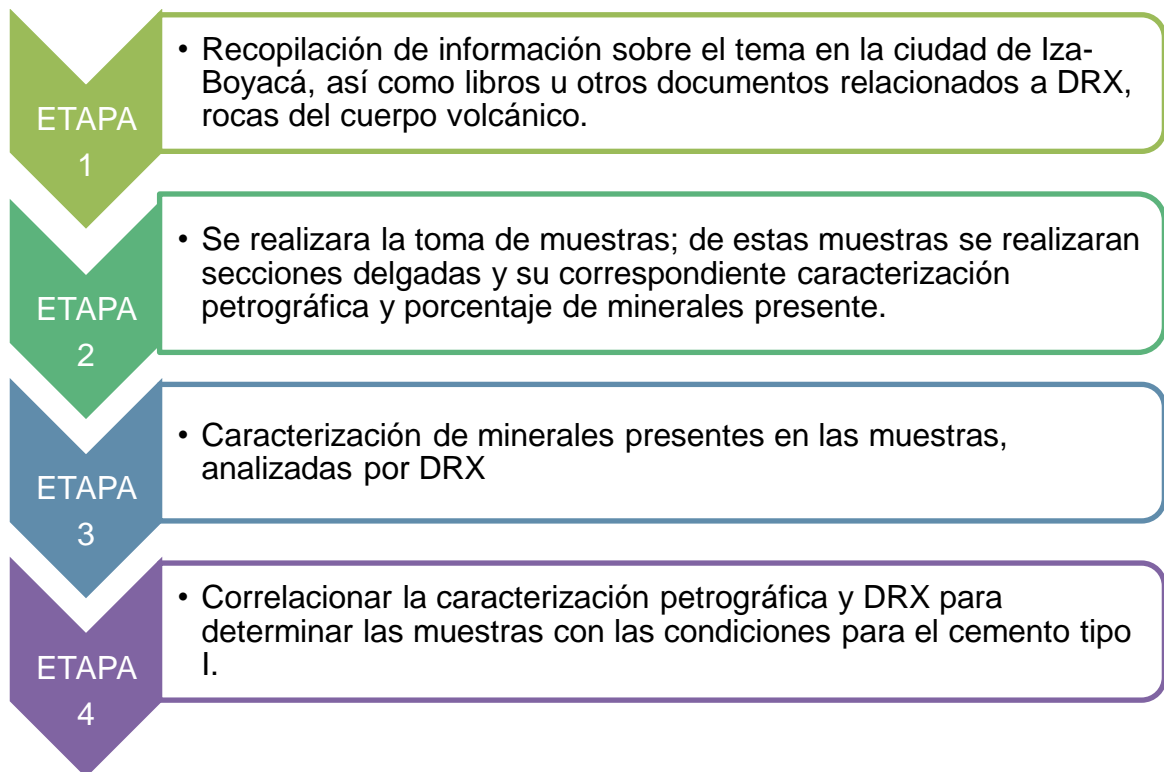


**Fuente:** Google Maps 2016, modificado por autores

## 1.2 DESARROLLO DEL PROYECTO

El proyecto presentado a continuación está compuesto por cuatro etapas principales descritas a continuación.

Figura 2. Metodología del proyecto



**Fuente:** Autores

## 1.3 ANTECEDENTES

Los trabajos realizados en la zona de estudio son escasos en cuanto al desarrollo del tema de interés, el principal trabajo ha sido LA CARACTERIZACION GEOLOGICA DEL CUERPO VOLCANICO DE IZA, Boyacá – Colombia Por María Luisa Monsalve; Nadia R. Rojas; Francisco A. Velandia P; Iradia Pintor; Lina Fernanda Martínez. Donde en el estudio se indica que el domo de Iza es un cuerpo ígneo aflorante en la cordillera oriental, se definió el sistema geotérmico de Iza, se llevó a cabo el reconocimiento geológico que permitió caracterizar el cuerpo volcánico, así como su relación con las rocas encajantes. A diferencia del volcán de Paipa, el cuerpo de Iza no alcanzó la superficie en el momento de su emplazamiento, considerándose

como Criptodomas, los cuales han sido expuestos en superficie por actividad tectónica y erosión.

Según el trabajo realizado por David Andrei Contreras Fayad, José Maria Jaramillo Mejía; denominado CARACTERIZACIÓN MINERALÓGICA DE LAS ROCAS QUE COMPONEN EL CUERPO VOLCÁNICO QUE AFLORA EN CERCANÍAS AL MUNICIPIO DE IZA, BOYACÁ, COLOMBIA.

Donde la investigación permite determinar la alteración hidrotermal que presentan dichas rocas volcánicas; lo cual se evidencia gracias a la presencia de minerales como la tridimita, el ópalo, la calcedonia, epidota (pistacita), y alunita, este último mineral está usualmente reemplazando al feldespato potásico; por medio de la difracción de rayos X permite determinar la presencia de sanidinas formadas durante la fase magmática.

La Olade Geotérmica Italiana, (1981 en: INGEOMINAS, 1995), quienes llevan a cabo en Colombia un estudio de reconocimiento de áreas con potencial geotérmico, incluyendo los volcanes de la Cordillera Central y la zona de Paipa-Iza, donde reportan datos petrográficos y geoquímicos de elementos que clasifican las rocas como Riolitas con grandes contenidos de potasio.

Martínez (1989), quien describe las rocas ígneas petrográficas y litológica de Iza compuestas por pequeños cuerpos ácidos, enriquecidos en potasio pero pobres en Na, Ca, Mg, Mn, Fe, y las clasifica como Riolitas a Riodacitas alcalinas.

Rincón y Romero (1990), para las rocas de Iza estos autores atribuyen un intenso metasomatismo potásico y una fuerte alteración hidrotermal, además definen un anillo de brechas volcánicas líticas alrededor del cuerpo del domo.

Romero y Medina (2015), en donde se extraen 32 muestras las cuales se analizan por dos métodos; la técnica analítica química y por fluorescencia de Rayos X posteriormente se grafican concentraciones mineralógicas más representativas; así se puede observar la distribución en planta de las muestras con sus fases mineralógicas y determinar las zonas de Sílice y Amorfo, así como también el lugar de ubicación de las muestras que pueden aportar materiales arcillosos y actuar negativamente en proceso de fabricación del cemento puzolánicos.



## 2 GEOLOGIA

En la zona axial de la cordillera oriental se encuentra el cuerpo volcánico de Iza en el departamento de Boyacá, la región se encuentra conformada por un basamento de rocas sedimentarias y metamórficas del paleozoico así como intrusivas y extrusivas del Jurasico, las cuales están aflorando en el Macizo de Floresta, sobre el basamento se halla una secuencia sedimentaria de gran espesor conformada por rocas del Cretáceo como las Formaciones Tibasosa, Une, Churuvita, Conejo, Plaeners, Los Pinos y Labor-Tierna y rocas Terciarias como las Formaciones Guaduas, Socha Inferior, Socha Superior, Picacho y Concentración (FIGURA 3).

### 2.1 GEOLOGIA REGIONAL

#### 2.1.1 TECTONICA

La Cordillera Oriental de Colombia se considera como el resultado de la interacción entre las placas de Nazca, Caribe y Suramericana (Pennington 1981; Cooper et al 1995; Trenkamp et al 2002), cuya ocurrencia estaría estrechamente relacionada con la convergencia por el NW de la placa Suramericana, de un arco de islas antiguo (Serranía del Baudó – Panamá), el cual colisionó finalmente con el continente hace 3 – 7 Ma.

La cordillera Oriental consiste principalmente de rocas sedimentarias del Cretácico y del Terciario Inferior, depositadas en un ambiente marino y continental, respectivamente. Dichas rocas se encuentran sobre un basamento cuyas rocas poseen edades desde Precámbricas a Jurasicas y/o Pre-Cretácicas.

Las rocas ubicadas en el área de interés están representadas por la Formación Une, Formación Churuvita, Formación Conejo, Grupo Guadalupe (*Formación Arenisca Dura*, *Formación Plaeners*, *Formación Arenisca Tierna*) y la Formación Guaduas para el Cretácico, y las Formación Socha Inferior, Formación Socha Superior, Formación Picacho para el Paleoceno y Formación Concentración para el Eoceno.<sup>1</sup> Teniendo en cuenta al Domo volcánico de Iza presenta un alto replegamiento observado en las rocas aflorantes en el área, indicando que éstas han estado sometidas a esfuerzos compresionales, evidenciando por la presencia de fallas inversas en la región, aunque se suponen épocas en las que la tectónica fue de tipo

---

<sup>1</sup> (Caracterización mineralógica de las rocas que componen el cuerpo volcánico que aflora en cercanías al municipio de Iza, Boyacá, Colombia. Petrografía, metalografía y análisis elemental por medio de un microscopio electrónico de barrido, 2009)

distensivo, que se manifiesta con la presencia de cuerpos ígneos intrusivos a nivel regional y local como los cuerpos volcánicos de Iza y Paipa<sup>2</sup>.

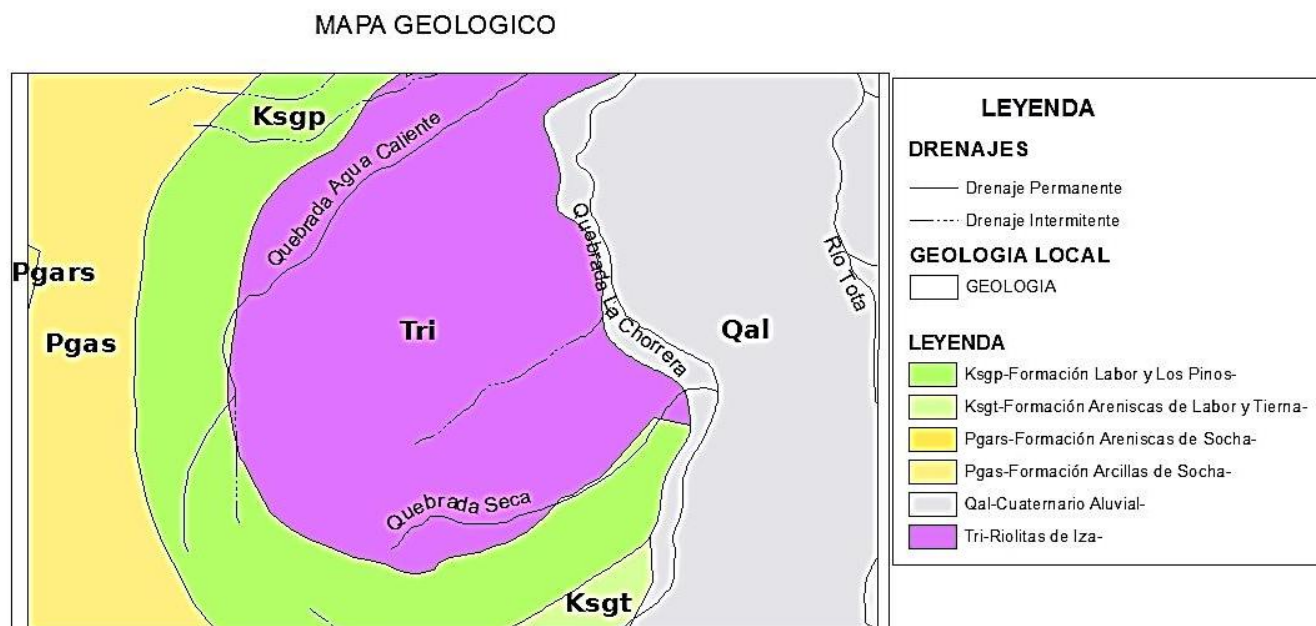
### 2.1.2 ESTRATIGRAFIA

La geología del área de estudio se encuentra referenciada en las memorias geológicas y planchas geológicas 191 y 192 de INGEOMINAS, los cuales servirán de base para desarrollar el marco geológico del presente proyecto.

En la zona de estudio y alrededores, afloran rocas de origen sedimentario de las formaciones Socha Inferior, Socha Superior y Picacho además de un depósito de rocas ígneas intrusivas (Riolitas) de origen hidrotermal. Dichas rocas son del Cretácico Superior y Terciario Inferior las cuales se encuentran cubiertas en parte por depósitos aluviales y coluviales de edad Cuaternaria.

Las nomenclaturas para las formaciones geológicas se tomaron de la Plancha 192 Laguna de Tota, Escala 1:100.000 del INGEOMINAS 2001.

Figura 3. Geología regional.



Fuente: autores.

<sup>2</sup> (ESQUEMA DE ORDENAMIENTO TERRITORIAL, 2003)

#### 2.1.2.1 FORMACION LABOR Y PINOS (Ksgp)

El nombre de esta unidad ha sido tomado de Ulloa & Rodríguez (1979), quienes la definieron como “Miembro Los Pinos” en el Cuadrángulo J-13 Sogamoso y la ubican entre las formaciones Labor y Tierna. Sin embargo, este criterio ha sido modificado por varios autores para denominar como Formación Los Pinos a una unidad de similares características ubicada entre las formaciones Plaeners y Labor-Tierna de Renzoni & Rosas (1983), pudiendo corresponder con cambios faciales desde el sitio donde fue definida inicialmente; en este sentido Díaz & Sotelo (1995) cartografían la unidad en el municipio de Paipa al norte de la zona de interés y con el mismo criterio se muestra en el presente trabajo con la posibilidad de que se trate de la sucesión inferior de la Formación Labor Tierna de Renzoni (1981). <sup>3</sup>

En el área de estudio predominan los paquetes blandos de limolitas negras a verdes, con intercalaciones de areniscas cuarzosas en capas medias a delgadas. Se encuentran también capas delgadas a muy delgadas de liditas silíceas de color gris claro; arcillolitas y limolitas laminadas color gris claro.

#### 2.1.2.2 FORMACION ARENISCA TIERNA (Ksgt)

El término Arenisca Tierna se debe a Hubach (1957a), quien lo utilizó en la cartografía del miembro que representa el techo del Grupo Guadalupe. Presenta una morfología de lomas alargadas que contrastan con la morfología de bajas topografías de la suprayacente Guaduas.

está constituida de arenitas de cuarzo de grano fino a grueso, en estratos medios a gruesos, con delgadas intercalaciones de lodolitas de color gris oscuro; la estratificación es planoparalela y plano no paralela a ondulada, estratos con láminas inclinadas. Se observa que la unidad infrayace concordantemente a la Formación Guaduas y su edad ha sido considerada como del Maestrichtiano, de acuerdo con su posición stratigráfica y con base en estudios paleontológicos efectuados por Etayo Serna(1985) y en Fabre (1985 a y b). <sup>4</sup>

---

<sup>3</sup> (INSTITUTO COLOMBIANO DE GEOLOGÍA Y MINERÍA INGEOMINAS, 2003)

<sup>4</sup> (ULLOA, y otros, 2001)

#### 2.1.2.3 FORMACION GUADUAS (Tkg).

Aflora en la zona como arcillolitas y limolitas color violeta, gris y crema; en capas de medias a muy gruesas con intercalaciones abundantes de areniscas cuarzosas de grano fino, en capas medias a muy delgadas con estratificación ondulada paralela continua y con óxidos de hierro. Abundantes mantos de carbón; en el área hacia la parte superior se observan capas gruesas masivas de arenisca cuarzosa con laminación lenticular a cruzada, de grano fino subredondeado y con matriz arcillosa con intercalaciones delgadas de arcillolita gris. Se le asigna un espesor aproximado en la zona de 500 m. Según Var Der Hammen (1958, en Renzoni, 1981) esta formación tiene una edad comprendida entre Maestrichtiano hasta Paleoceno.<sup>5</sup>

#### 2.1.2.4 FORMACION ARENISCAS DE SOCHA (Pgars)

La Formación Areniscas de Socha propuesta por Alvarado & Sarmiento (1944) representa una gruesa secuencia de areniscas que reposan sobre la Formación Guaduas. La sección tipo de esta formación aflora en las cercanías de Socha Viejo, área de Paz de Río. El contacto inferior es discordante con la infrayacente Formación Guaduas; está compuesta por una sucesión de arenitas de grano fino a grueso con niveles conglomeráticos y granos de cuarzo; los planos de estratificación son planoparalelos a ondulados no paralelos y dentro de algunos estratos se observan láminas inclinadas tangenciales. El color de las areniscas es amarillo rojizo; los granos de cuarzo son angulares a subangulares con una moderada selección. Entre las areniscas se observan delgadas intercalaciones de lodolitas gris oscuro que tiñen a rojo.<sup>6</sup>

#### 2.1.2.5 FORMACION ARCILLAS DE SOCHA (Pgas)

Aunque Ulloa & Rodríguez (1979) plantean utilizar el término Formación Arcillas de Socha, en el Cuadrángulo K12 – Guateque, esta formación corresponde a la Formación Socha Superior, definida por Alvarado & Sarmiento (1944).

La unidad presenta una morfología de valles que contrasta con los escarpes de las infra y suprayacentes formaciones Arenisca de Socha y Picacho, respectivamente. Constituida por lodolitas gris oscura que por meteorización dan tonalidades rojo amarillentas, con intercalaciones de arenitas líticas de grano fino a medio, color gris

---

<sup>5</sup> (ESQUEMA DE ORDENAMIENTO TERRITORIAL, 2003)

<sup>6</sup> (ULLOA, y otros, 2001)

verdoso, presenta estratificación ondulada a planoparalela y su ambiente de depósito corresponde a llanuras de aluviales de inundación con canales distributarios.

#### 2.1.2.6 FORMACION PICACHO (Tp)

El nombre de la Formación Picacho fue dado por Alvarado y Sarmiento (1944), para designar un potente conjunto de areniscas conglomeráticas cuya localidad tipo es el cerro del Picacho, al noroeste de la población de Paz del Río.

Presenta morfología de lomas escarpadas que resalta comparada con la morfología de valles de las unidades Socha Superior y Concentración quienes la infrayacen y suprayacen, respectivamente<sup>7</sup>. Está constituida en su parte inferior por areniscas blancas de grano medio a grueso en ocasiones conglomeráticas, con estratificación cruzada; hacia la parte media de la formación es común encontrar zonas impregnadas de asfalto. La parte superior está constituida por bancos de areniscas masivas.<sup>8</sup>

#### 2.1.2.7 CUATERNARIO ALUVIAL (Qal)

Estos materiales se encuentran en las márgenes de los ríos y quebradas. Son generados por la acumulación de materiales transportados por corrientes fluviales. Están constituidos por gravas, arenas y limos, producto de procesos aluviales y glaciares ocurridos durante el Plio-Pleistoceno. Los depósitos aluviales se encuentran concentrados hacia los valles, en especial el de Sogamoso-Pesca (cuadrícula A1), y en la población de Aquitania (cuadrícula D3); dan una morfología de zonas planas Ligeramente onduladas.

#### 2.1.2.8 RIOLITA (Tri)

Se observa un cuerpo volcánico de forma circular, este cuerpo volcánico es de composición Riolítica según Renzoni (1969).

Se observó que este cuerpo volcánico intruye a las unidades Plaeners y Arenisca Tierna. Macroscópicamente son de color blanco con tintes amarillentos a rojizos, con textura porfírica y fenocristales de cuarzo, plagioclasa y anfíbol. En los bordes del cuerpo volcánico se encontraron brechas volcánicas con fragmentos de cuarcitas, chert, areniscas, limolitas y rocas volcánicas.

---

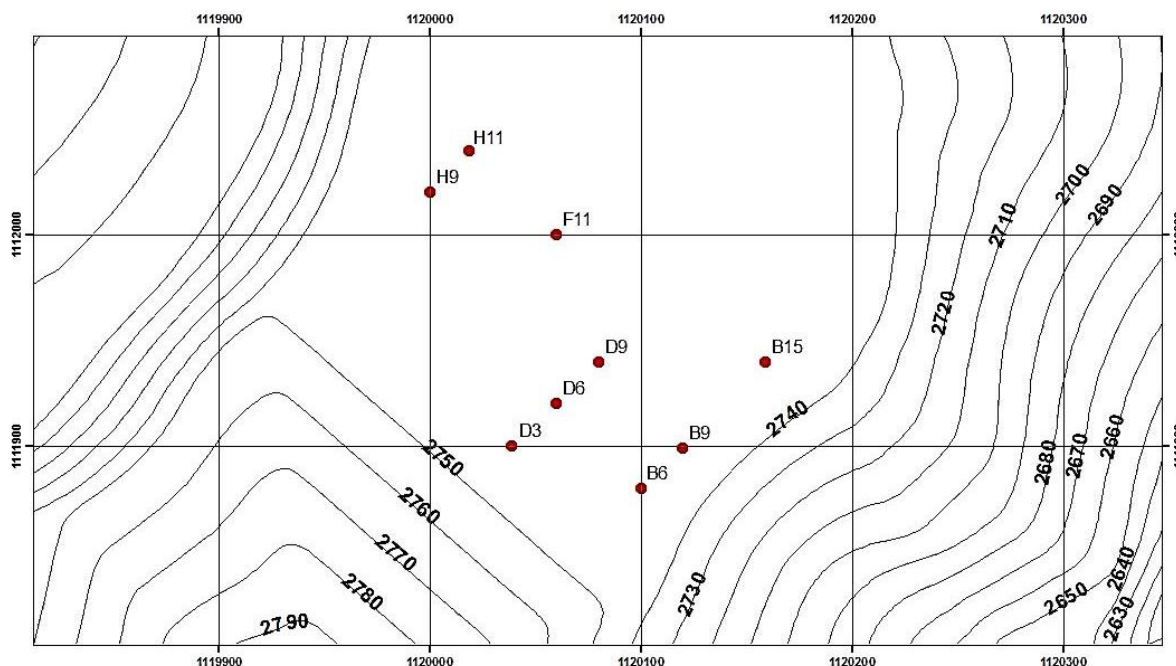
<sup>7</sup> (ULLOA, y otros, 2001)

<sup>8</sup> (INSTITUTO COLOMBIANO DE GEOLOGÍA Y MINERÍA INGEOMINAS, 2003)

## 2.2 TOMA DE MUESTRAS

Para el desarrollo del proyecto se presentaron limitaciones por parte de la empresa quien tiene título minero; para la toma de muestras la malla fue realizada y suministrada por la empresa. El área total de muestreo es de 200m por 200m.

Figura 4. malla de muestreo



Fuente: autores

### 2.2.1 MUESTREO EN CAMPO

El muestreo se realizó sobre la cantera de explotación en donde se tomaron muestras a 1 metro de profundidad, el tipo de muestreo que se realizó es aleatorio estratificado, ya que las muestras se tomaron aleatoriamente dentro de un estrato; tanto los puntos como la malla de muestreo fueron asignados por la empresa, en cada punto de muestreo se recogieron aproximadamente 2.5 kilos, dicho material se extrajo con retroexcavadora.

Para el desarrollo de la Técnica de Microscopia Óptica, se realizó secciones delgadas por método de probetas ya que el mineral a estudiar se disgrega fácilmente, Se tomaron 2,5 Kilos aproximadamente lo cuales se trituraron para pasar por el tamiz número 20 luego por el tamiz número 10, posteriormente se lava el material retenido para no perder los cristales de la muestra; se combina el material lavado con retenido en el tamiz 10, de lo cual la mitad del material se utiliza para el análisis de difracción de rayos “X” y la otra parte para realizar las probetas que permite lograr la densidad de puntos necesaria para el análisis Petrográfico, que exige una malla de 500 puntos de observación.

Tabla 1. Coordenadas de los puntos de muestreo Iza Boyacá- fuente: autores

COORDENADAS		CODIGO
ESTE	NORTE	
1120100	1111880	B6
1120120	1111899	B9
1120159	1111940	B15
1120039	1111900	D3
1120060	1111920	D6
1120080	1111940	D9
1120060	1112000	F11
1120000	1112020	H9
1120019	1112040	H11

Figura 5. Proceso de realización de una probeta



Material para la realización de la probeta.



Tamizado de la muestra.



A: muestra para realizar probeta

B: muestra para análisis de difracción de rayos "X"



Secado de la muestra para adicionar aditivos.



Aditivos utilizados: Estireno Monomero, peróxido y resina.



Limpieza del cilindro porta muestras con desmoldante.



Mezcla de los aditivos y la muestra.



Prensado hidraulico con adición de aglomerante y muestra.



Corte de la muestra y presentación de las probetas terminadas.

Fuente: autores

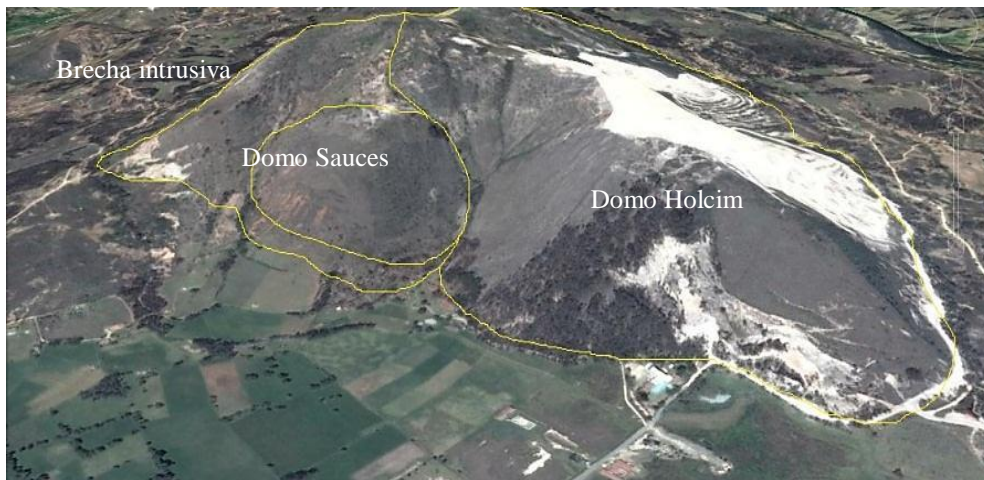


### 2.3 GEOLOGIA LOCAL

El domo Volcánico de Iza se encuentra en las coordenadas geográficas ( $5^{\circ}36'20''N$  –  $72^{\circ}59'33''W$ ) entre los 2.600 y 2.950 m.s.n.m; su explotación ha permitido identificar rocas grises con textura porfírica cristalina y algunas con mayor grado de alteración en las que varían tonalidades entre blancas, amarillentas y rosadas.

El domo está compuesto por tres cuerpos dómicos: Domo de Holcim, caracterizado por rocas porfíricas de composición Riolítica con zonas de brechas en rompecabezas; Domo Los Sauces, caracterizado por su composición Riolítica con ausencia de fragmentos líticos y una brecha definida como brecha intrusiva, la cual se forma por la disrupción del magma frente a un nivel de acuífero ubicado en la secuencia sedimentaria Cretácica-Terciaria, arrastrando en su ascenso un gran contenido de fragmentos sedimentarios, en posteriores ascensos del magma la incorporación de estos líticos disminuye. Se presume por tanto un ascenso inicial de la brecha y posteriormente el ascenso de los domos. La figura 6. Identifican los domos denominados por los estudios anteriores (CARACTERIZACIÓN GEOLÓGICA DEL CUERPO VOLCÁNICO DE IZA, BOYACÁ – COLOMBIA) por Monsalve, M. Rojas, N. Francisco A. Velandia, P. Pintor, I. Martínez, L., además de estos domos, se referencia el cuaternario Coluvial, que determina la intrusión de la riolita

Figura 6. Cuerpo volcánico de Iza



Fuente: Autores

### 2.3.1 FORMACION LABOR Y PINOS (Ksgp)

Está constituida de arenitas de cuarzo de grano fino a grueso, en estratos medios a gruesos, con delgadas intercalaciones de lodolitas gris oscuro con estratificación plano-paralela y plano no paralela a ondulada.

**Foto 1.** Formación Labor y Pinos.



Fuente: autores

### 2.3.2 FORMACION GUADUAS (K2K6g)

Se compone de arcillolitas color gris a negro con algunas intercalaciones de arenisca cuarzosa, le infrayace la formación arenisca Tierna, se evidencia en zonas mantos de carbón; el área está cubierta por vegetación lo cual impide la toma de datos estructurales.

**Foto 2.** Formación guaduas



Fuente: autores

### 2.3.3 RIOLITA (Tri)

En el área de estudio y donde se desarrolló la toma de muestreo, se aprecia la roca expuesta por la continua explotación. Las Riolitas a las cuales se pudo tener acceso presentan una resistencia débil al martillo, presenta colores variables entre blanco y grises con textura afanática impidiendo el reconocimiento de los minerales en muestra macro.

**Foto 3.** Cantera de explotación de Puzolana



Fuente: autores

## 3 CARACTERSTICAS QUIMICAS Y MINERALOGICAS

### 3.1 REQUISITOS QUÍMICOS DE LA PUZOLANA DENTRO DE LA INDUSTRIA CEMENTO

Los elementos principales que debe contener la materia prima para la producción del cemento son:

Oxido de calcio ( $\text{CaO}$ ): En la naturaleza se encuentra en la roca caliza.

Oxido de Aluminio ( $\text{Al}_2\text{O}_3$ ): En la naturaleza se halla combinado con la arcilla y se funde a  $2505^\circ\text{C}$

Bióxido de Silicio ( $\text{SiO}_2$ ): Se encuentra en abundancia en la naturaleza formando parte de los silicatos en las variedades cristalizadas cuarzo, tridimita, cristobalita y en forma vítrea en la sílice fundida; la tridimita se obtiene a  $870^\circ\text{C}$ , la cristobalita a  $1470^\circ\text{C}$  y se funde a  $1710^\circ\text{C}$  formándose cuarzo vítreo, para que el cuarzo se transforme en tridimita y cristobalita requiere de un aumento lento de la temperatura de lo contrario se obtendrá una masa vítrea que no cristaliza al enfriarse.

Óxido de hierro ( $\text{Fe}_2\text{O}_3$ ): Es muy abundante en la naturaleza, constituyendo el mineral de hierro llamado hematite, proviene de las impurezas de las arcillas, da el color al cemento.

Cada uno de estos elementos debe ir en proporciones definidas dependiendo de las características que se requieran; esta materia prima se homogeniza y se lleva al horno al elevarse la temperatura a 1450°C se combinan y se produce el componente principal del cemento, llamado Clinker.

Si el Clinker fuera molido finamente fraguaría casi de inmediato en presencia del agua, es por esta razón que en el momento de la molienda del Clinker se le adiciona Yeso hidratado con el fin de retardar el tiempo de fraguado.

Al obtener el Clinker se observan elementos cristalinos como:

Silicato Tricálcico ( $S_3C$ ): Es el material más importante del Clinker determina la rapidez del fraguado y favorecen la resistencia mecánica del cemento, su cantidad en el Clinker es de 40 a 60% comercialmente se denomina Alita, los cristales de alita tiene por lo general forma hexagonal y tiene forma regular alargada.

Silicato Bicálcico ( $C_2S$ ): Es el segundo compuesto en importancia en la constitución del Clinker, con una cantidad de 10-30% y determina el comportamiento en la resistencia a la compresión, la belita presenta cristales compactos redondeados.

Ferro Aluminato Tetracálcico ( $C_4Al$ ): Constituye en el Clinker una cantidad de 4-15%, es una sustancia intermedia y presenta fraguado en pocos minutos.

El cemento posee otros componentes en proporciones minoritarias como el óxido de Sodio y óxido de potasio que se conoce con el nombre de álcalis, los cuales pueden reaccionar con componentes potencialmente reactivos como el ópalo y arcillas, materiales que se encuentran en las Riolitas; el contenido mínimo de álcalis del cemento con el cual puede haber expansión es de 0.6%, la reacción del álcalis y un agregado puede producir un agrietamiento en el concreto. El óxido de manganeso y el óxido de titanio, sus contenidos no deben superar un 5% ya que generaran problemas en la resistencia a largo plazo.

El contenido de Cal libre debe ser inferior al 2% para que su expansión no provoque efectos destructivos, cuando este valor esta entre 2,5-10% generara problemas en la calidad del Clinker es por esta razón que a la cal libre se le adiciona puzolana como método correctivo esta reacción forma un cemento natural.

## **3.2 ANALISIS MINERALOGICO**

### **3.2.1 EQUIPO, MATERIALES Y METODOS**

El análisis se realizó en el laboratorio de la UPTC, seccional Sogamoso, en el microscopio petrográfico Olympus, el cual alcanza una resolución hasta 1000 aumentos.

Las muestras fueron realizadas por el método de probetas, realizándose una sección por muestra. La descripción mineralógica y textural se hizo mediante conteo de 500 puntos.

### **3.2.2 PETROGRAFIA**

Para el análisis mineralógico se hizo identificación, descripción y cuantificación de los minerales presentes en las muestras recolectadas.

Las rocas se dividen, en tres grupos dependiendo su origen: rocas sedimentarias, rocas ígneas y metamórficas. Para el desarrollo del trabajo nos enfocamos en el segundo grupo; rocas ígneas, las cuales se producen de la cristalización de un magma en profundidad; dependiendo del proceso que tenga la roca se generan diferentes texturas y minerales, los cuales determinaran el tipo de roca.

Las rocas intrusivas se forman por enfriamiento lento bajo la corteza, el magma se enfría lentamente dando a los cristales la oportunidad de crecer, es por esto que alcanzan tamaños considerables para ser observados con facilidad, presentando estructura granular y textura fanerítica. Como ejemplos se tiene: el granito y la diorita

Las rocas extrusivas se forman sobre la superficie, la lava se enfría rápidamente a medida que surge a la superficie. El tiempo de enfriamiento no permite que se formen grandes cristales, generando cristales pequeños con textura afanática. Las rocas más conocidas son el basalto y la piedra pómez.

### **3.3 CARACTERÍSTICAS PETROGRÁFICAS DE LAS PUZOLANAS**

Las puzolanas que se explotan en el Domo de Iza, presentan las siguientes características: tonalidades de blanco, rosado y gris claro, no se observan cristales a simple vista, con ayuda del microscopio se observó mineral amorfo como el ópalo y minerales cristalinos.

Se elaboraron 9 secciones delgadas para análisis petrográfico, el análisis se desarrolló por conteo de 500 puntos, así se obtiene los porcentajes de concentración por muestra. Los minerales con porcentajes menor o igual a 5% se tomaron como minerales accesorios para la clasificación streckeisen (1966), mientras que para el análisis de difracción de rayos X se ha tomado los minerales con mayor porcentaje en las muestras.

**Foto 4.** Muestra H9 de puzolana, a la izquierda en roca y a la derecha disgregada con la mano.



Fuente: autores

### **3.4 RESULTADOS POR PETROGRAFIA**

Con la petrografía se identificaron minerales como: cristobalita, tridimita, ópalo, rutilo, circón, opacos, semiópalo, cuarzo y material arcilloso.

Tabla 2. Resultados obtenidos por petrografía- Fuente: autores

COD	COORDENADAS		TRIDIMITA %	CUARZO %	OPALO %	CRISTOBALITA %	SEMIOPALO PARCIALMENTE OPALIZADO %	MATERIAL ARCILLOSO %	RUTILO %	CIRCON %	OPACOS %
	ESTE	NORTE									
<b>B6</b>	1120100	1111880	38,4	1,8	21	22,4	16,4	0	0	0	0
<b>B9</b>	1120120	1111899	31	0,8	19	19	25,8	3	0,4	0,6	0,4
<b>B15</b>	1120159	1111940	22,2	1,4	30,8	8,4	23,6	11	0,6	1,2	0,8
<b>D3</b>	1120039	1111900	36,4	1,8	15,4	31,6	14,6	0	0	0	0,2
<b>D6</b>	1120060	1111920	36,8	1,4	11,4	29,4	20,6	0	0	0	0,4
<b>D9</b>	1120080	1111940	26,4	1,6	32,6	23	9,8	4,4	0,2	0,8	1,2
<b>F11</b>	1120060	1112000	26,4	1,6	16,4	11	34,6	8,4	0,4	0,2	1
<b>H9</b>	1120000	1112020	25,6	2	13,8	9,6	38,4	9	0	0,6	1
<b>H11</b>	1120019	1112040	29,2	1,6	19,4	30,4	16,8	0	0,4	1,2	1



A continuación se relacionara los minerales encontrados en las secciones delgadas con su fórmula química y sus principales características.

**TRIDIMITA:** la Tridimita es una rara forma polimórfica del cuarzo mineral. Su fórmula es  $\text{SiO}_2$ , Frecuentemente aparece en cavidades en las rocas volcánicas. Sus cristales pueden presentar intercrecimiento con cristales de cristobalita. Es estable a temperaturas inferiores a  $117^\circ\text{C}$ .

**CUARZO:** Está compuesto de dióxido de silicio ( $\text{SiO}_2$ ), presente en muchos tipos de rocas y es considerado el mineral más abundante de la corteza terrestre. Es un constituyente esencial de las rocas ígneas, como el granito, la riolita y la pegmatita. Posee una estructura trigonal trapezoedro, es estable hasta  $870^\circ\text{C}$ .

**OPALO:** Sílice amorfa o sílice hidratada, clasificado dentro de los óxidos con fórmula  $\text{SiO}_2 \cdot n\text{H}_2\text{O}$ . La composición es la misma que el cuarzo con la diferencia que el ópalo está hidratado, es decir, tiene moléculas de agua en su composición. Se forma como producto de la descomposición y deshidratación de silicatos, rocas eruptivas.

**CRISTOBALITA:** ( $\text{SiO}_2$ ), es la fase cubica de alta temperatura del sílice. Estable a temperaturas inferiores de  $200^\circ\text{C}$ .

**PARCIALMENTE OPALIZADO O SEMIOPALO:** está compuesto por variedades criptocristalinas o amorfas de sílice, su fórmula es  $\text{SiO}_2 + \text{H}_2\text{O}$  en un porcentaje de 1-21%.

Figura 7. Vista microscópica de minerales, muestra F11.

En nicols paralelos a la izquierda nicols cruzados a la derecha se observan: cristobalita (C), tridimita (T), parcialmente opalizado (PO) y ópalo (O).

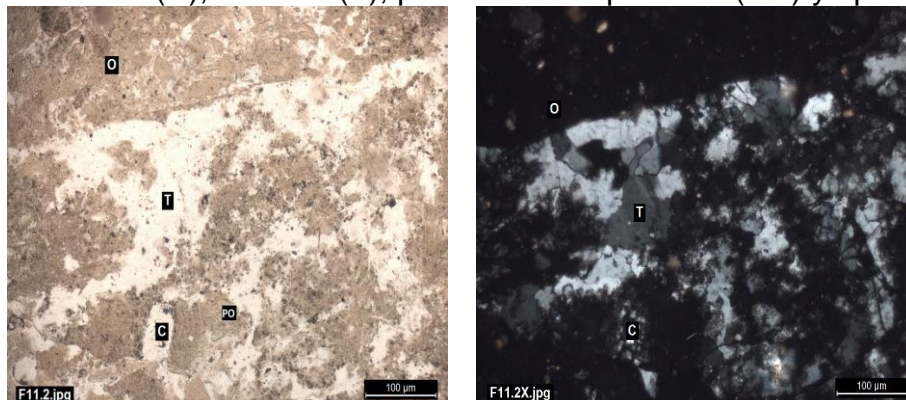
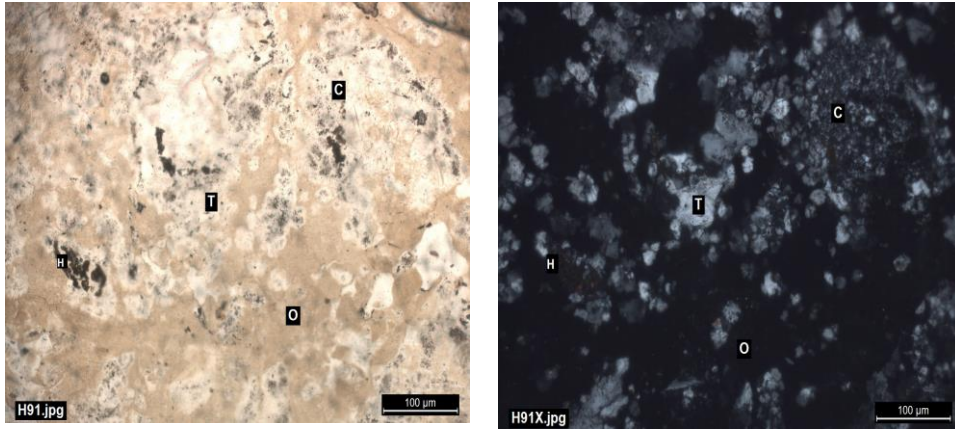




Figura 8. Imagen en sección delgada muestra H9.

En nicols paralelos a la izquierda, nicols cruzados a la derecha. Se observan Tridimita (T), Cristobalita (C), gohetita (H) y Ópalo (O)



Fuente: autores

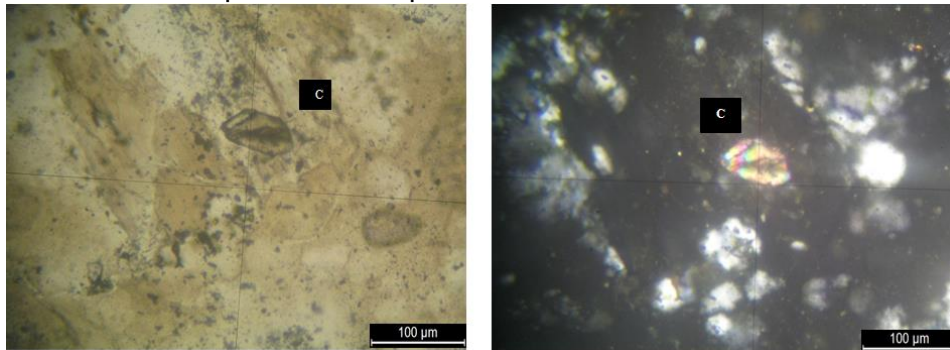
Figura 9. Imagen en sección delgada muestra B6.

#### MINERALES ACCESORIOS

**RUTILO:** Formula química  $\text{TiO}_2$  (Con  $\text{Fe}^{2+}$ , Sn), es una de las formas en que se presenta el dióxido de titanio en la naturaleza. En microscopio de luz transmitida se puede reconocer por su color marrón, en ocasiones rojizo, su elevado relieve y colores fuertes de birrefringencia.

**CIRCON:** formula química  $\text{ZrSiO}_4$ . Se encuentra como granos subamorfos con terminaciones piramidales. Presenta alto relieve y pequeño tamaño.

Figura 10. Vista microscópica de minerales, muestra B9  
Derecha nicols paralelos e Izquierda Nicols cruzados muestra de circón (C).

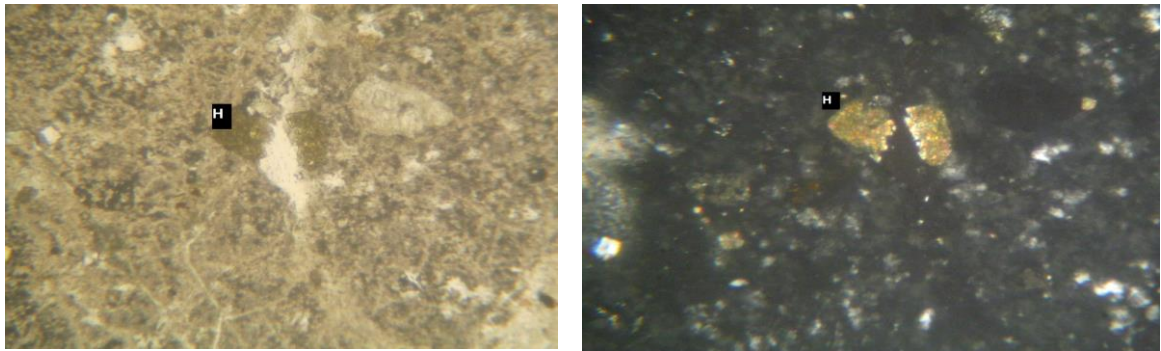


Fuente: autores

OPACOS: Los minerales opacos son los que no transmiten la luz al microscopio y aparecen negros tanto con nicoles paralelos como cruzados. Suelen estar en cantidades accesorias.

Figura 11. Vista microscópica de minerales, muestra B9

En nicoles paralelos a la izquierda, nicoles cruzados a la derecha. Se observan hornblenda (H).



Fuente: autores

**HORNBLENDA:** Se conoce de manera informal con el nombre de Hornblenda a los minerales del grupo de los anfíboles que tienen color entre verde-oscuro y negro. Se presenta en granitos, sienitas, dioritas y muchas rocas volcánicas; en grietas. **FÓRMULA:**  $(\text{Ca}, \text{Na})_{2-3}(\text{Mg}, \text{Fe}, \text{Al})_5\text{Si}_6(\text{Si}, \text{Al})_2\text{O}_{22}(\text{OH})_2$ . Presenta relieve moderado a alto. Se puede reconocer por sus tonalidades de verdes y amarillos.

### 3.5 METODO DE DIFRACCION DE RAYOS “X”

La difracción de rayos X (DRX) es una de las técnicas más eficaces para el análisis cualitativo y cuantitativo de fases cristalinas de cualquier tipo de material, tanto natural como sintético.

La difracción de rayos X es una técnica analítica versátil, no destructiva para la identificación y determinación cuantitativa de las diversas formas cristalinas, conocidas como fases de compuestos presentes en muestras en polvo y sólidas. La identificación se logra comparando el patrón de difracción de rayos X, o difractograma, obtenido a partir de una muestra desconocida con una base de datos reconocida internacionalmente que contiene patrones de referencia de más de 70.000 fases.

Los sistemas modernos de difractómetros controlados por computadores usan rutinas automáticas para medir, grabar e interpretar los difractogramas únicos producidos por los constituyentes individuales incluso en mezclas altamente complejas

Las anchuras de los picos en un patrón de fase particular indica el tamaño medio de los cristales. Cuando los cristales son grandes dan lugar a picos agudos, mientras que los cristales pequeños generan una anchura en los picos.

Figura 12. Relación del tamaño de los cristales y la difracción



Fuente: autores

La técnica microscópica tiene menor poder de separación, de compuestos cristalizados, que la de difracción de rayos X, ya que la longitud de onda (la de la luz visible) utilizada es mayor.

Así un compuesto que es vítreo para microscopía da compuestos cristalizados por DRX.

### 3.5.1 EQUIPO Y MATERIAL

- Los análisis de difracción de rayos X, se realizaron en los equipos X'Pert PRO de PANALYTICAL con un tubo de 2.2 Kw, ánodo de cobre y en condiciones de uso de 40 Kw y 40 mA en el equipo de la UPTC seccional Tunja. El programa Refl Dlf , HighScore Plus, Argis 10.3

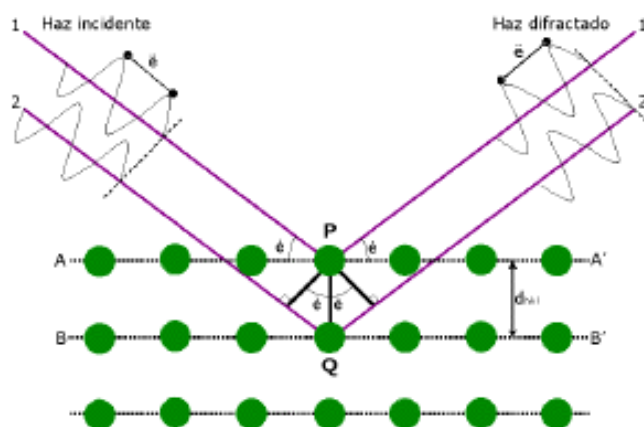
**Foto 5.** equipos X'Pert PRO de PANALYTICAL



Fuente: autores

La difracción de rayos x es un fenómeno físico en el cual chocan los electrones con suficiente energía cinética para originarlos, se busca la interacción de un rayo con determinada longitud de onda originado por un cátodo y un ánodo, en el cátodo se le aplica un potencial para acelerar los electrones producidos por el filamento los cuales chocan contra el ánodo y envían los rayos x en todas las direcciones<sup>9</sup>. Este fenómeno físico se basa en leyes ópticas de refracción y difracción. Existen varias técnicas de difracción de rayos x, la más utilizada es la ley de bragg.

Figura 13. Esquema de Bragg para la reflexión en distintas familias de planos,  $d$ ,  $d_1$ ,  $d_2$ , que corresponden a los espaciado reticulares  $d_{hkl}$ .. de índices de Millar ( $hkl$ ).



Fuente: Dr. Andrés Ozols. Aplicaciones de la difracción de rayos X

<sup>9</sup> (Baños, 2001)

La difracción de rayos x es una técnica de caracterización de sustancias cristalinas y amorfas que sirve para determinar la estructura detallada de un material en específico, propiedades como tamaño del cristal, tamaño de celdas unitarias, cantidad de material cristalino, cantidad de material amorfo y composición química de la muestra.

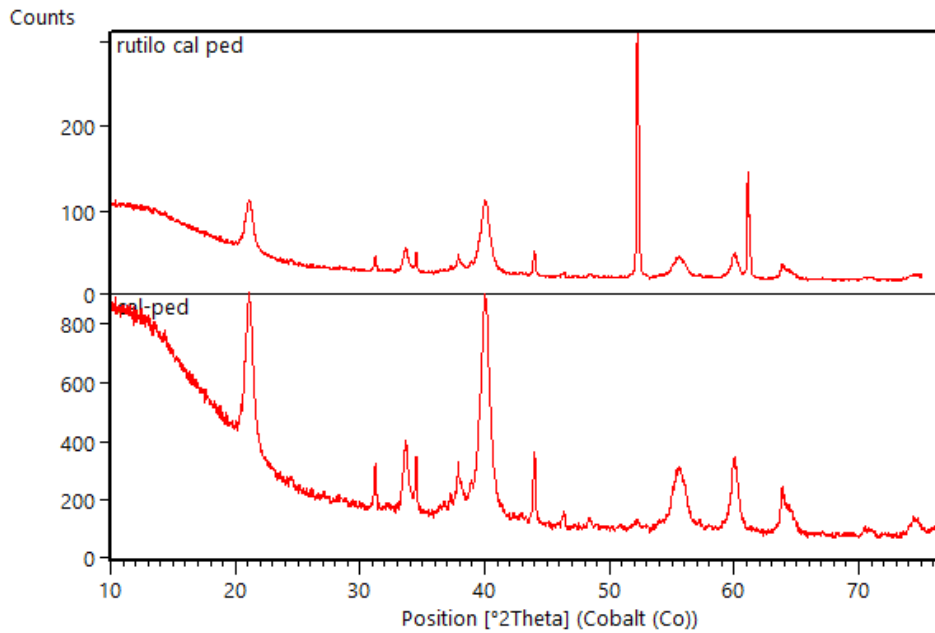
Las fases amorfas no se ven por difracción de rayos X, solamente una gran cantidad de una fase amorfa se mostrará como un fondo aumentado, especialmente entre 10 - 30 grados  $2\theta$  para la radiación de cobalto.

La suma de todas las fases detectadas se normaliza siempre al 100%. Cuando está presente una fase amorfa, las cantidades de todas las fases cristalinas se calculan demasiado altas, con el fin de compensar la fase amorfa no detectada. Esto se utiliza para cuantificar indirectamente la cantidad amorfa en una muestra.

Se añade a la muestra una cantidad conocida de una fase patrón cristalina al 100%. A partir de la sobreestimación de la fase estándar se calcula un factor de corrección, que a su vez se aplica a todas las n fases cristalinas. La diferencia restante al 100% (después de aplicar el factor de corrección) es el porcentaje en peso de la fase amorfa.

Para esto es necesario tener exactitud en la adición del peso porcentual material estándar o “rutilo” que se use” generalmente del 10%” , ya que es necesario evitar al máximo fenómenos de factores de escala demasiados altos y traslapamientos de picos que entorpezcan el estudio.

Figura 14. Patrón puro y el patrón con la adición del material estándar



Fuente: UPTC. Laboratorio INCITEMA

En la gráfica se muestra el patrón puro y el patrón con la adición del material estándar donde se crean dos picos de difracción sin traslapamientos, es necesario tener en cuenta los planos de difracción de cada patrón, por esto para cada muestra será necesario evaluar el material más adecuado que cumpla con la función de material estándar.

### 3.6 RESULTADOS POR DIFRACCION DE RAYOS X

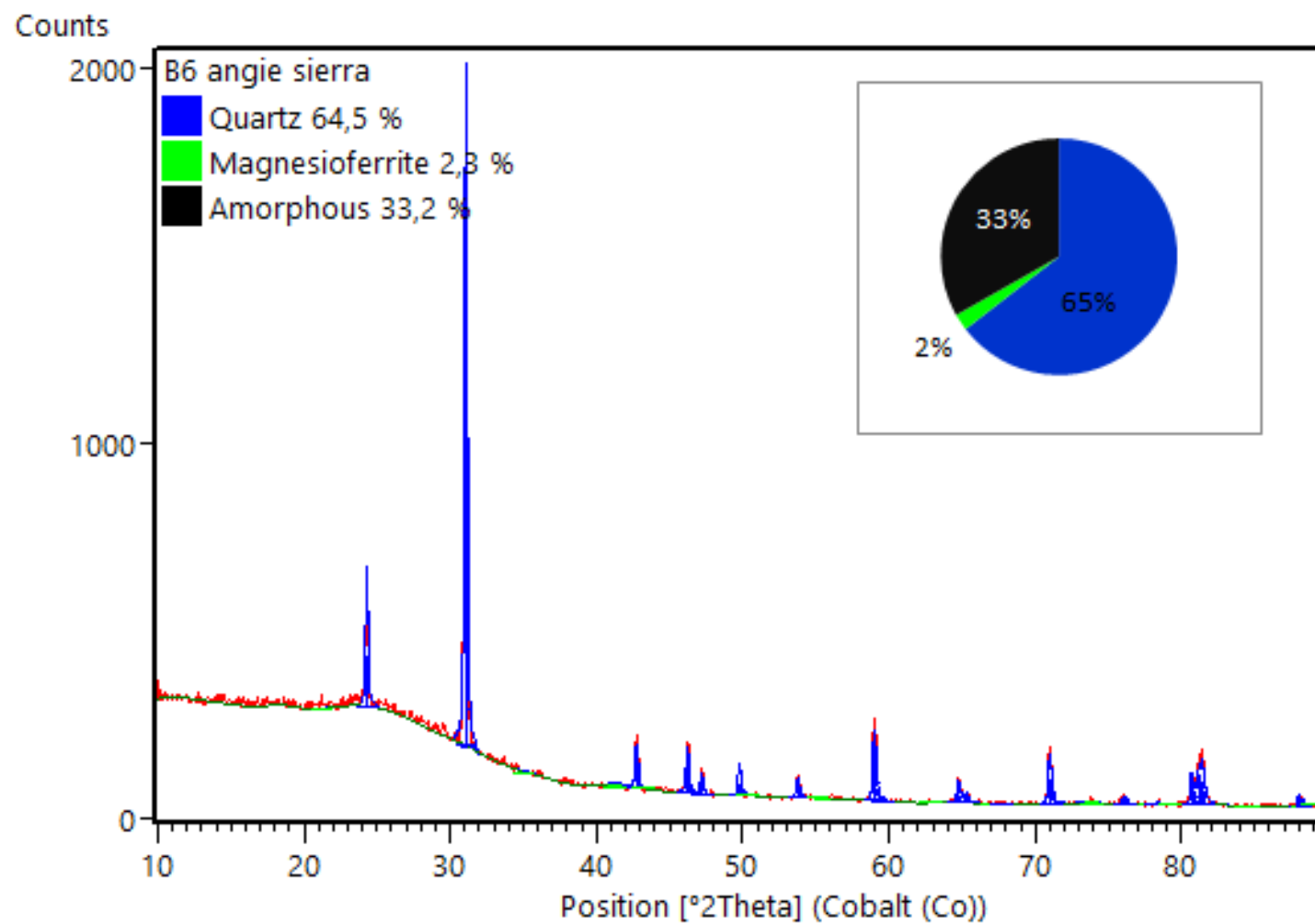
La siguiente tabla es el resumen de los principales minerales encontrados en los ensayos de difracción de rayos X.

Tabla 3. Porcentaje de minerales por difracción de rayos x

CODIGO	COORDENADAS		CUARZO %	AMORFO %	MAGNESIOFERRITA %	ALUNITA %	CAOLINITA %	TOTAL %
	ESTE	NORTE						
<b>B6</b>	1120100	1111880	64,5	33,2	2,3	0	0	100
<b>H9</b>	1120000	1112020	60,3	31,7	8		0	100
<b>D3</b>	1120039	1111900	60,3	32,6	0	0	7,1	100
<b>D6</b>	1120060	1111920	61,2	35,4	3,4	0	0	100
<b>B15</b>	1120159	1111940	39,7	46	0	2,9	11,5	100,1
<b>B9</b>	1120120	1111899	50,9	43,1	0	6	0	100
<b>D9</b>	1120080	1111940	56,4	43,6	0	0	0	100
<b>H11</b>	1120019	1112040	8,1	49,8	8,2	33,9	0	100
<b>F11</b>	1120060	1112000	38,8	52	0	9,2	0	100

Fuente: autores

Figura 15. Difractograma de la muestra B6  
**NORTE:** 1111880  
**ESTE:** 1120100



Fuente: INCITEMA UPTC

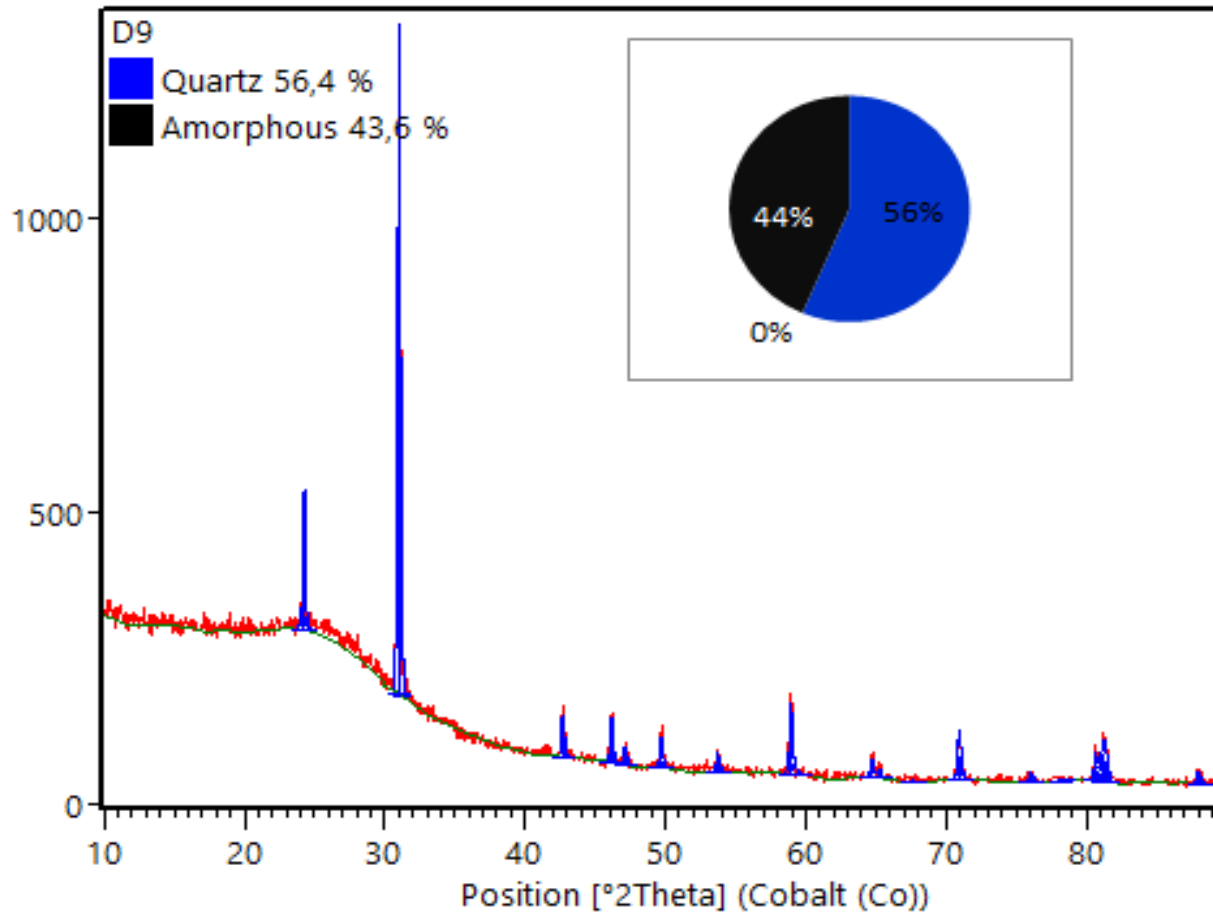


Figura 16. Difractograma de la muestra D9.

**NORTE:** 1111940

**ESTE:** 1120080

Counts



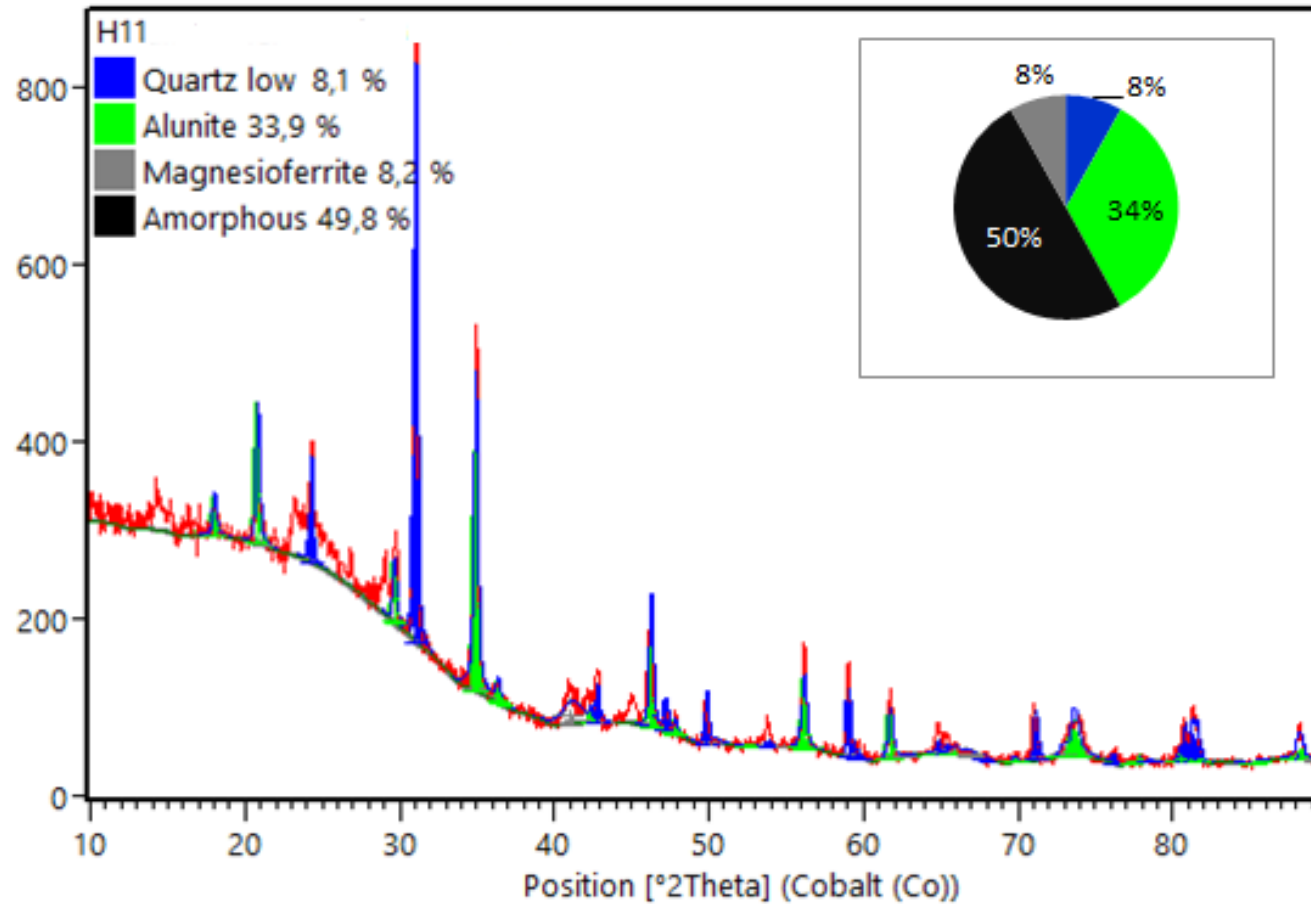
Fuente: INCITEMA UPTC

Figura 17. Difractograma de la muestra H11.

**NORTE:** 1112040

**ESTE:** 1120019

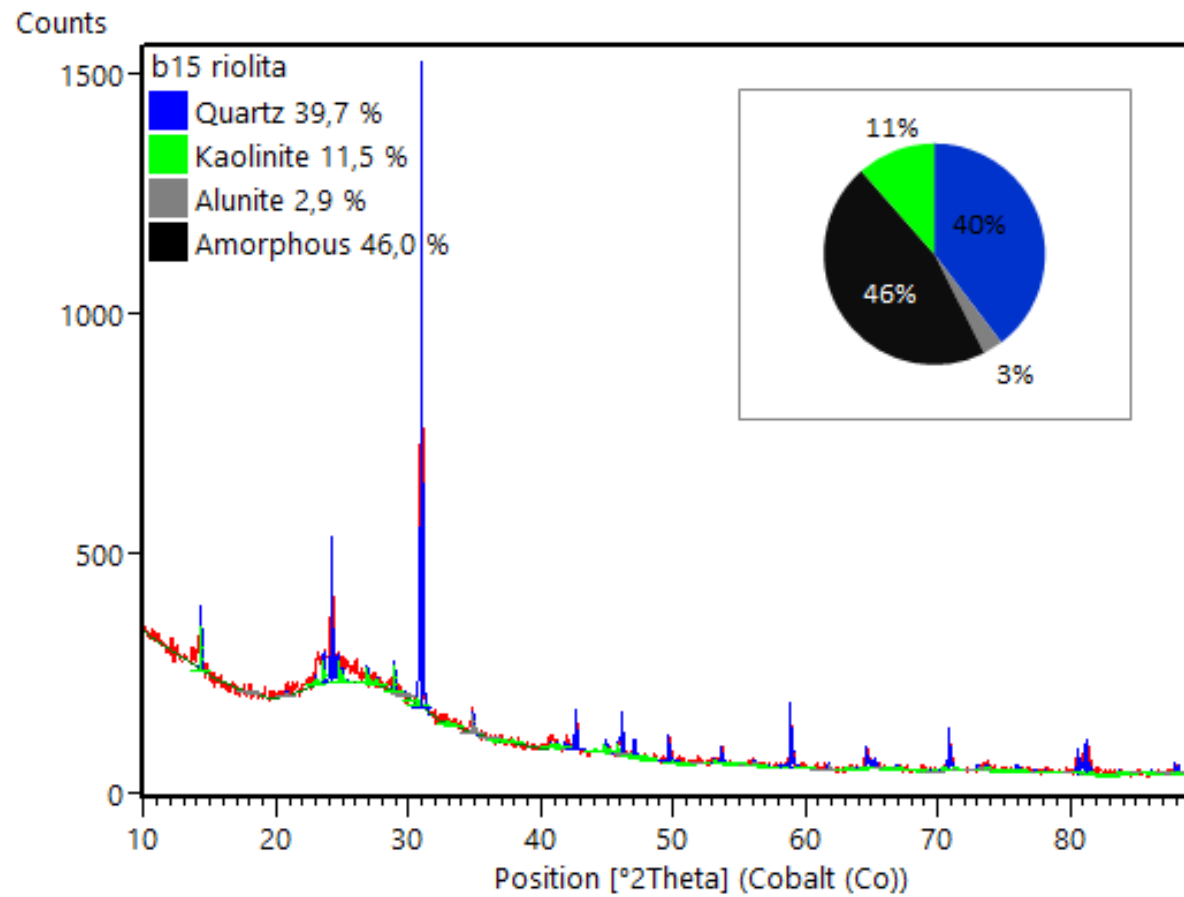
Counts



Fuente: INCITEMA UPTC

Figura 18. Difractograma de la muestra B15.

**ESTE:** 1120159  
**NORTE:** 1111940

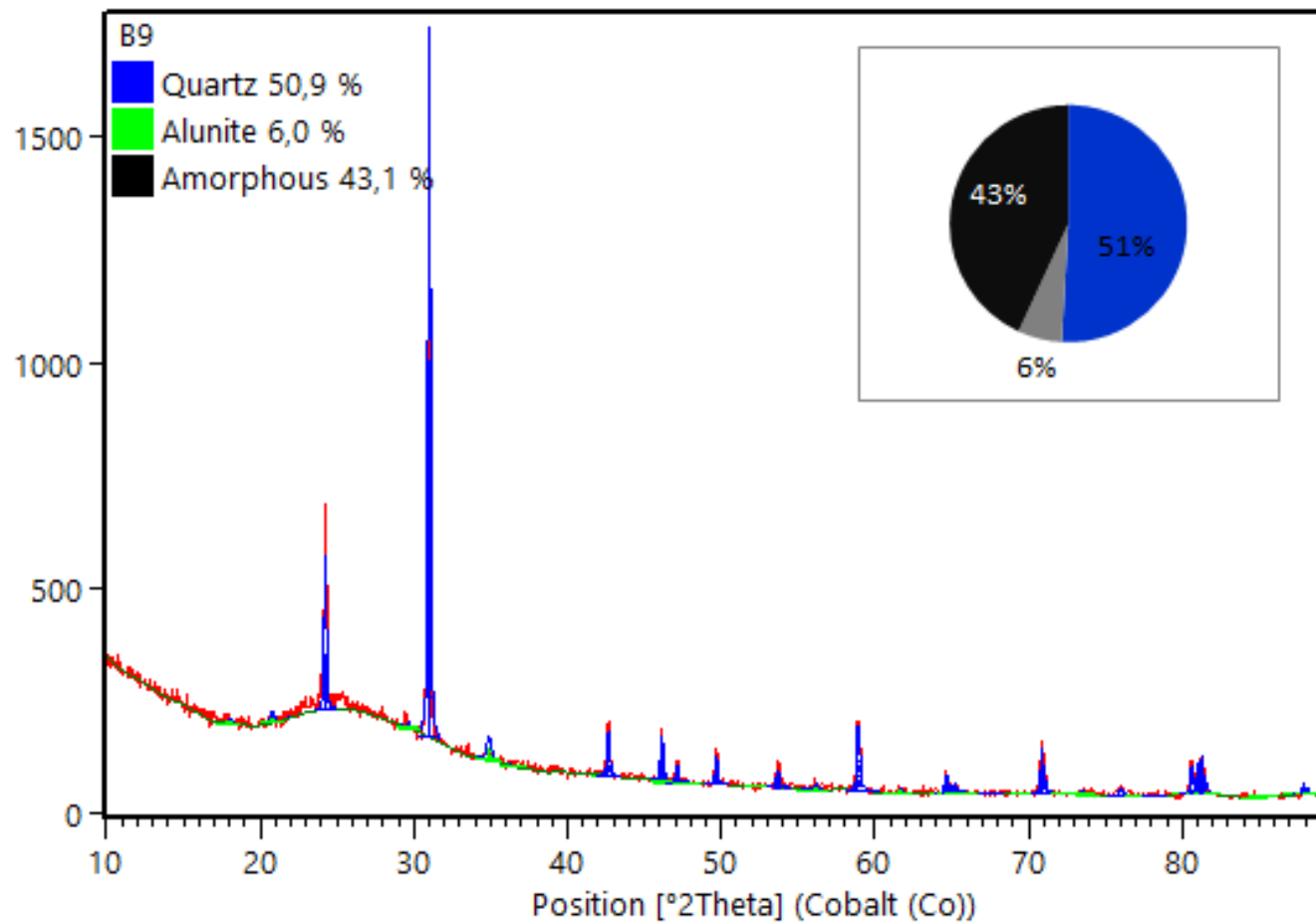


Fuente: INCITEMA UPTC

Figura 19. Difractograma de la muestra B9.

ESTE: 1120120  
NORTE: 1111899

Counts

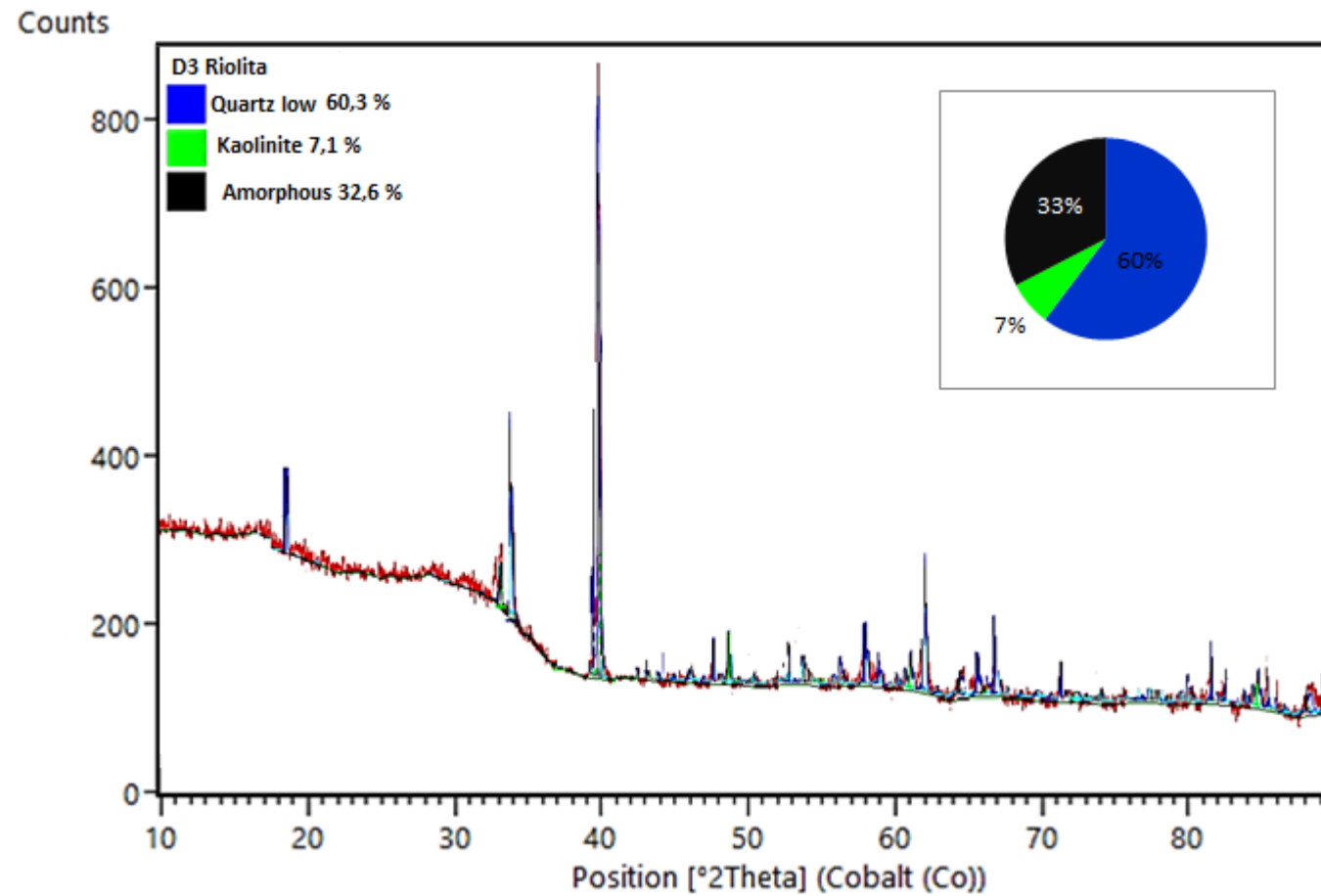


Fuente: INCITEMA UPTC

Figura 20. Difractograma de la muestra D3.

**NORTE:** 1111900

**ESTE:** 1120039



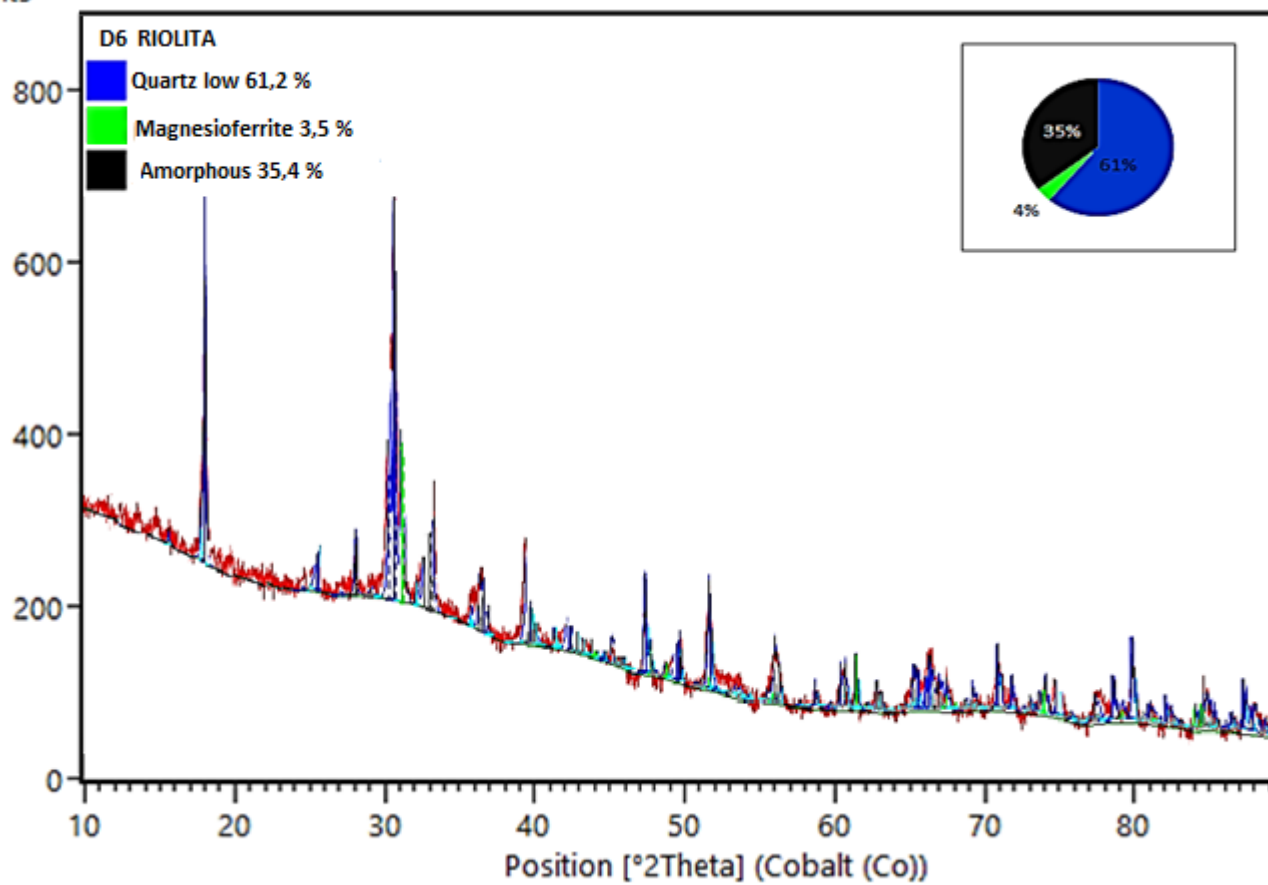
Fuente: INCITEMA UPTC

Figura 21. Difractograma de la muestra D6.

**ESTE:** 1120060

**NORTE:** 1111920

Counts



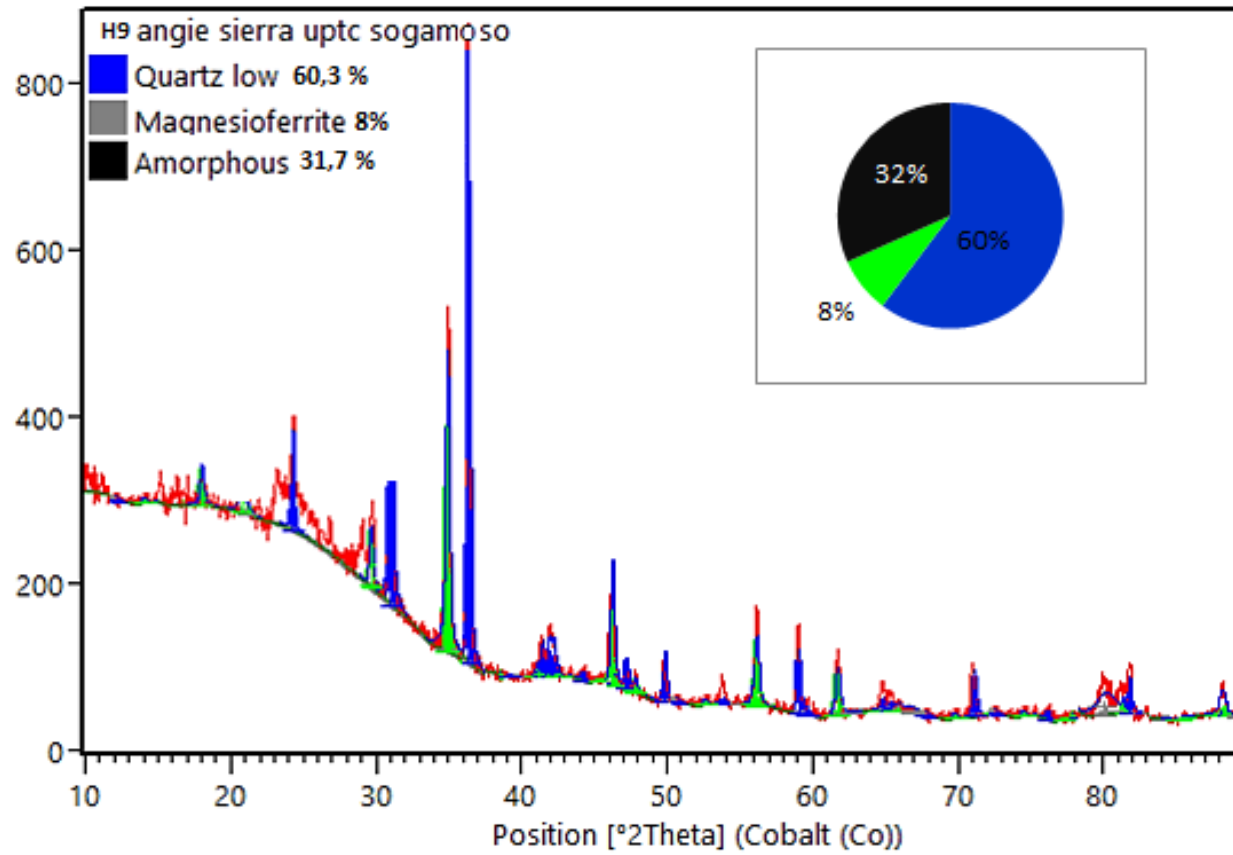
Fuente: INCITEMA UPTC

Figura 22. Difractograma de la muestra H9.

**ESTE:** 1120000

**NORTE:** 1112020

Counts

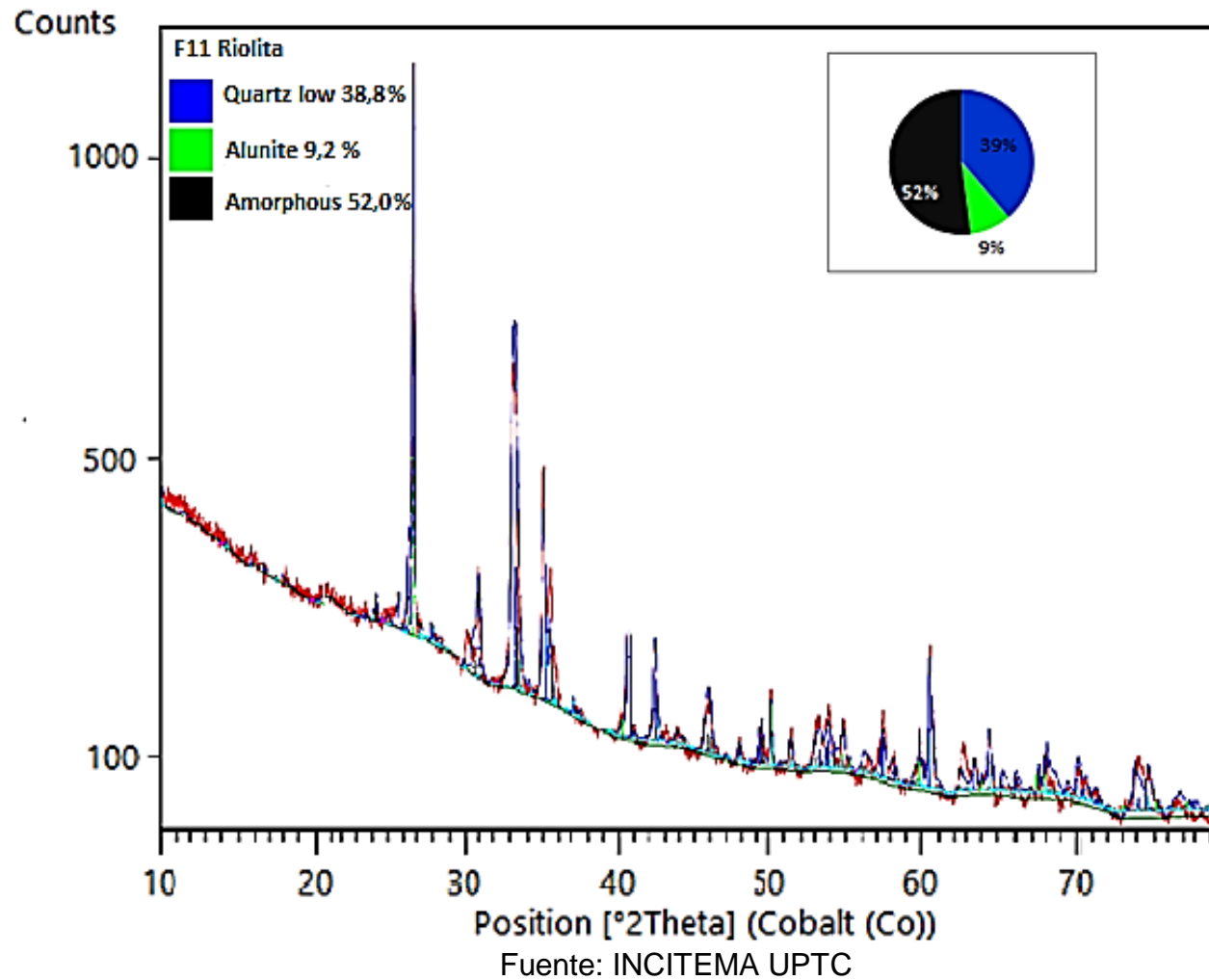


Fuente: INCITEMA UPTC

Figura 23. Difractograma de la muestra D6.

ESTE: 1120019

NORTE: 1112040





#### 4 CLASIFICACION DE AREAS DE INTERES PARA LA EXPLOTACIÓN DE PUZOLANAS.

En el desarrollo del presente capítulo se dará a conocer la correlación de los resultados en porcentajes obtenidos por petrografía y por difracción de rayos X, de cada una de las muestras analizadas. Para los estudios se tiene en cuenta los minerales que aportan al contenido silicio, al contenido de alúmina y al de hierro. Para establecer el porcentaje optimo del contenido de sílice amorfa reactiva se asumió un porcentaje de 50%, fuente autores.

Tabla 4. Correlación mineralógica y DRX de la muestra con código D3.

##### MUESTRA D3

CODIGO: D3							
Este: 1120039				Norte: 1111900			
PETROGRAFÍA	Tridimita	Cristobalita	Cuarzo	Ópalo	Semiopalo	Opacos	
	SIO2	SIO2	SIO2	SIO2	SIO2		
	36,4	37,6	1,8	15,4	14,6		
DRX	Cuarzo			Amorfo			Caolinita
	SIO2			SIO2			Al2Si2O5(OH)4
	60,3			32,6			7,1

Ópalo+ semiopalo =30 % Fase Amorfa reactiva.

Este porcentaje es muy bajo con respecto al cuarzo cristalino lo que indica que esta muestra no es favorable al cemento.

Cuarzo + tridimita+ cristobalita= 75,8 % fase Cristalina No Reactiva

La caolinita aporta un 7,1 % generando un efecto negativo, en la calidad del cemento.

Se determina que esta muestra de puzolana es de baja calidad. Ver anexos.

Fuente: autores

Tabla 5. Correlación mineralógica y DRX de la muestra con código B6.

### MUESTRA B6

CODIGO B6						
Este: 1120100 Norte: 1111880						
PETROGRAFÍA	Tridimita	Cristobalita	Cuarzo	Ópalo	Semiopalo	
	SiO2	SiO2	SiO2	SiO2	SiO2	
	38,4	22,4	1,8	21	16,4	
DRX	Cuarzo			Amorfo		Magnesioferrita
	SiO2			SiO2		2,3
	64,5			33,2		
Ópalo+ semiopalo= 33,2 % Fase Amorfa reactiva favorable en la calidad del cemento.						
Este porcentaje es muy bajo con respecto al cuarzo cristalino lo que indica que esta muestra no es favorable al cemento.						
Cuarzo + tridimita+ cristobalita = 62,2 % Fase Cristalina No Reactiva.						
Se determina que esta muestra de puzolana es de baja calidad. Ver anexos.						

Fuente: autores

Tabla 6. Correlación mineralógica y DRX de la muestra con código B9.

### MUESTRA B9

B9										
Este:1120120 Norte: 1111899										
Petrografía	Tridimita	Cristobalita	Cuarzo	Ópalo	Semi-opalo	Material Arcilloso	Rutilo	Circón	Opacos	
	SiO2	SiO2	SiO2	SiO2	SiO2		TiO2	Zr [SiO4]		
	31	19	0,8	19	25,8		3	0,4	0,6	
DRX	Cuarzo			Amorfo						Alunita
	SiO2			SiO2						KAl3(SO4)2(OH)6
	50,9			41,1						6
<p>Ópalo+ semiopalo= 50,8 % Fase Amorfa reactiva este porcentaje es favorable en la calidad del cemento.</p> <p>Cuarzo + tridimita+ cristobalita = 44,8 % Fase Cristalina No Reactiva.</p> <p>La fase amorfa se encuentra en un porcentaje cercano a la cantidad de sílice por esto se considera una muestra de moderada a alta calidad. Ver anexos.</p>										

Fuente: autores.

Tabla 7. Correlación mineralógica y DRX de la muestra con código B15.

### MUESTRA B15

B15										
Este: 1120159    Norte: 1111940										
Petrografía	Tridimita	Cristobalita	Cuarzo	Opalo	Semi opalo	Material Arcilloso	Rutilo	Circón	Opacos	
	SiO2	SiO2	SiO2	SiO2	SiO2		TiO2	Zr [SiO4]		
	22,2	8,4	1,4	30,8	23,6		11	0,6	1,2	
DRX	Cuarzo			Amorfo		Caolinita				Alunita
	SiO2			SiO2		Al2Si2O5(OH)4				KAl3(SO4)2(OH)6
	39,7			46		11,5				2,9
<p>Ópalo+ semiopalo= 54,4 % Fase Amorfa reactiva este porcentaje es favorable en la calidad del cemento.</p> <p>Cuarzo + tridimita+ cristobalita = 32 % Fase Cristalina No Reactiva.</p> <p>La fase amorfa se encuentra en un porcentaje superior a la cantidad de sílice entonces se considera una muestra de alta calidad. Ver anexos.</p>										

Fuente: autores

Tabla 8. Correlación mineralógica y DRX de la muestra con código D6.

### MUESTRA D6

D6							
Este: 1120100      Norte: 1111880							
Petrografía	Tridimita	Cristobalita	Cuarzo	Opalo	Semiopalo	Opacos	
	SiO2	SiO2	SiO2	SiO2	SiO2	0,4	
	36,8	29,4	1,4	11,4	20,6		
DRX	Cuarzo			Amorfo			Magnesioferrita
	SiO2			SiO2			
	61,2			35,4			3,4
<p>Ópalo+ semiopalo= 32 % Fase Amorfa reactiva este porcentaje es muy bajo con respecto al cuarzo cristalino lo que indica que esta muestra no es favorable al cemento.</p> <p>Cuarzo + tridimita+ cristobalita = 67 % Fase Cristalina No Reactiva.</p> <p>Se determina que esta muestra de puzolana es de baja calidad. Ver anexos.</p>							

Fuente: autores.

Tabla 9. Correlación mineralógica y DRX de la muestra con código D9.

### MUESTRA D9

D9									
Este: 1120080    Norte: 1111940									
Petrografía	Tridimita	Cristobalita	Cuarzo	Ópalo	Semiopalo	Material Arcilloso	Rutilo	Circón	Opacos
	SiO2	SiO2	SiO2	SiO2	SiO2		TiO2	Zr [SiO4]	
	26,4	23	1,6	32,6	9,8		4,4	2	0,8
DRX	Cuarzo			Amorfo					
	SiO2			SiO2					
	56,4			43,6					
<p>Ópalo+ semiopalo= 42,4 Fase Amorfa reactiva este porcentaje es favorable en la calidad del cemento.</p> <p>Cuarzo + tridimita+ cristobalita = 51 fase cristalina no reactiva</p> <p>La fase amorfa se encuentra en un porcentaje cercano a la cantidad de sílice entonces se considera una muestra de moderada calidad. Ver anexos.</p>									

Fuente: autores

Tabla 10. Correlación mineralógica y DRX de la muestra con código F11.

### MUESTRA F11

F11										
Este: 1120060    Norte: 1112040										
Petrografía	Tridimita	Cristobalita	Cuarzo	Opalo	Semi opalo	Material Arcilloso	Rutilo	Circón	Opacos	
	SiO2	SiO2	SiO2	SiO2	SiO2		TiO2	Zr [SiO4]		
	26,4	11	1,6	16,4	34,6		8,4	0,4	0,2	
DRX	Cuarzo			Amorfo						Alunita
	SiO2			SiO2						KAl3(SO4)2(OH)6
	38,8			52						9,2
<p>Ópalo+ semiopalo= 51 % Fase Amorfa reactiva este porcentaje es favorable en la calidad del cemento.</p> <p>Cuarzo + tridimita+ cristobalita = 39 % Fase Cristalina No Reactiva.</p> <p>La fase amorfa se encuentra en un porcentaje superior a la cantidad de sílice entonces se considera una muestra de alta calidad. Ver anexos.</p>										

Fuente: autores.

Tabla 11. Correlación mineralógica y DRX de la muestra con código H9.

### MUESTRA H9

H9								
Este: 1120000    Norte: 1112020								
Petrografía	Tridimita	Cristobalita	Cuarzo	Ópalo	Semiopalo	Rutilo TiO2	Circón  Zr [SiO4]	Opacos   1
	SiO2	SiO2	SiO2	SiO2	SiO2			
	29,2	30,4	1,6	19,4	16,8			
DRX	Cuarzo			AMORFO		MAGNESIOFERRITA		
	SiO2			SiO2				
	60,3			31,7				
Ópalo+ semiopalo= 36,2 Fase Amorfa reactiva este porcentaje es muy bajo con respecto al cuarzo cristalino lo que indica que esta muestra no es favorable al cemento.								
Cuarzo + tridimita+ cristobalita = 61,2 % Fase Cristalina No Reactiva.								
Se determina que esta muestra de puzolana es de baja calidad. Ver anexos.								

Fuente: autores

Tabla 12. Correlación mineralógica y DRX de la muestra con código H11.

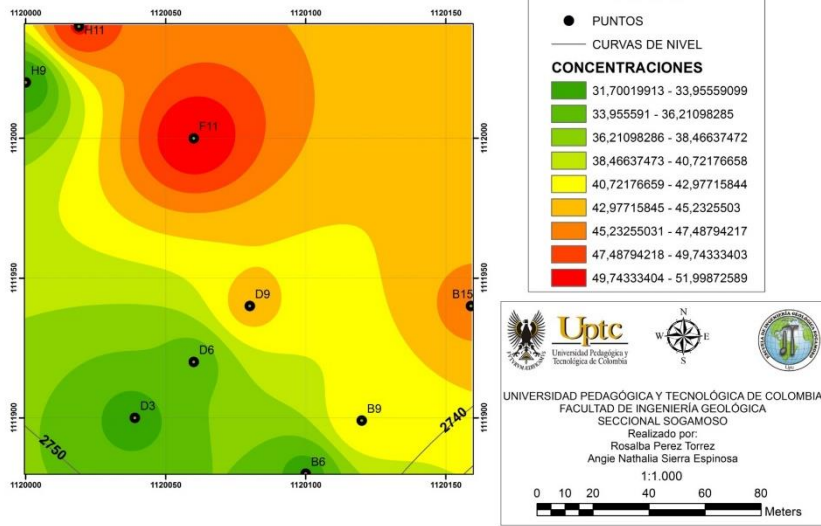
### MUESTRA H11

H11									
Este: 1120019   Norte: 1112040									
Petrografía	Tridimita	Cristobalita	Cuarzo	Opalo	Semi opalo	Rutilo	Circón	Opacos	
	SiO2	SiO2	SiO2	SiO2	SiO2				
	29,2	30,4	1,6	19,4	16,8				
DRX	Cuarzo			Amorfo		Magnesio ferrita			Alunita KAl3(SO4)2(OH)6  33,9
	SiO2 8,1			SiO2 49,8		8,2			
<p>Ópalo+ semiopalo= 52,2 % Fase Amorfa reactiva este porcentaje es favorable en la calidad del cemento.</p> <p>Sílice cristalina= 37,2 % Fase Cristalina No Reactiva.</p> <p>La fase amorfa se encuentra en un porcentaje superior a la cantidad de sílice entonces se considera una muestra de alta calidad. Ver anexos.</p>									

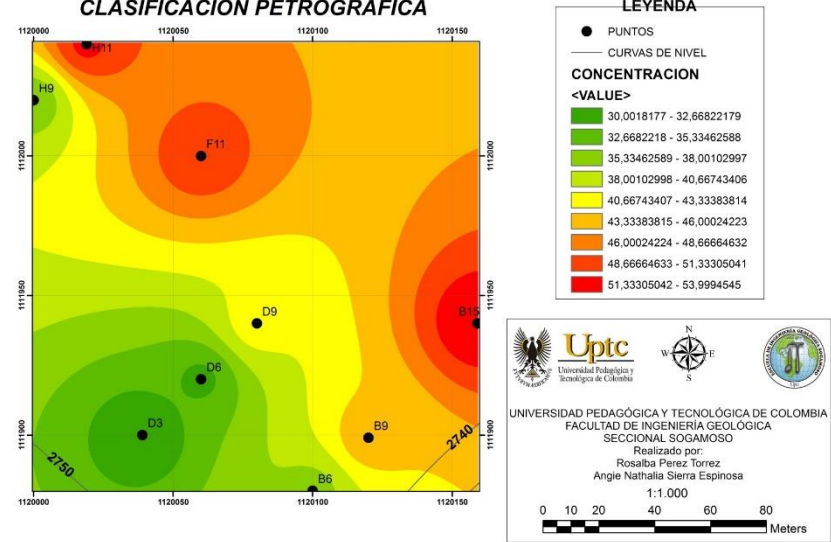
Fuente: autores

A continuación podemos ver los mapas de isoyetas, los cuales sirven para visualizar de manera mas clara las areas de mayor interes dadas por el porcentaje de silece amorfo reactiva, las areas de mayor productividad cuentan con porcentajes superiores al 50% y se visualizan el colores rojizos a naranja oscuro, las areas de moderada productividad tienen colores naranja a amarillo y las areas de baja productividad de colores verdes.

MAPA DE CONCENTRACIÓN DE AMORFO EN DRX



MAPA DE CONCENTRACIÓN DE AMORFO EN CLASIFICACIÓN PETROGRÁFICA



## 5 CONCLUSIONES

- Las muestras H11, F11 y B15, ubicadas al costado NE, SE de la malla de muestreo, presentan un porcentaje de amorfo superior al 50% indicando que las muestras son óptimas, para su uso en la fabricación del cemento.
- Al comparar los dos métodos: La petrografía con la difracción de rayos X, se establece que la primera es un complemento de la difracción.
- Se evidencia procesos hidrotermales indicativo de ellos son los minerales, como la Caolinita, el ópalo y la Alunita.
- Los altos porcentajes de sílice que muestran los análisis de las dos técnicas, permiten establecer que el magma original del Domo de Iza es de composición ácida.
- El promedio de material cristalino por DRX es de 48,9 % generado por la suma de: cuarzo, tridimita y cristobalita, de las 9 muestras indican una correlación evidente de los valores frente a un valor de 52,4 % arrojado por el método petrográfico.
- El promedio de la fase amorfo reactiva por el método DRX es de 40,8% generada por la suma de: cuarzo, tridimita y cristobalita, de las 9 muestras, indicando una correlación evidente de los valores frente a un valor de 42,3 % arrojado por el método petrográfico.
- El área de estudio se caracteriza por tener Riolitas de textura afanítica, con presencia de Feldespatos alterados, predominan minerales aportantes de sílice amorfo como lo son Ópalo y Semi Ópalo, y minerales aportantes de sílice Cristalino como el Cuarzo, Tridimita, Cristobalita, Alunita, material arcilloso y minerales accesorios en menores proporciones como: circón, rutilo, horblenda y gohetita.

## **6 RECOMENDACIONES**

- Se recomienda un estudio detallado de alteraciones hidrotermales del domo de Iza, para determinar que minerales se encuentran por alteración en esta zona.
- Se recomienda realizar estudios a profundidades mayores para establecer de donde provienen con exactitud algunos minerales presentes en la zona.
- Se recomienda que la malla de muestreo tenga más densidad de puntos para realizar un estudio más detallado.
- Se recomienda hacer más estudios con la técnica de difracción de rayos X, ya que con este método será posible una mejor caracterización de los minerales presentes.



## BIBLIOGRAFÍA

- BAÑOS ALCANZAR Miguel. *Elementos básicos en los equipos y haces de rayos x*, Tema 5, 2001, Disponible en catalogo en línea:  
<<https://www.google.com.co/search?q=ELEMENTOS+B%C3%81SICOS+EN+LOS+EQUIPOS+Y+HACES+DE+RAYOS+X.&oq=ELEMENTOS+B%C3%81SICOS+EN+LOS+EQUIPOS+Y+HACES+DE+RAYOS+X.&aqs=chrome..69i57.435j0j7&sourceid=chrome&ie=UTF-8>>
- CONTRERAS FARAD, David Andrei. JARAMILLO MEJIA, José Maria, *Caracterización mineralógica de las rocas que componen el cuerpo volcánico que aflora en cercanías al municipio de iza, Boyacá, Colombia. Petrografía, metalografía y análisis elemental por medio de un microscopio electrónico de barrido*. Paipa, 2009, Artículo: Congreso Colombiano de Geología, Universidad Pedagógica y Tecnológica de Colombia, Departamento de Geociencias, Boyacá. Disponible en catalogo en línea:  
<[http://revistas.uptc.edu.co/index.php/ingenieria\\_sogamoso/article/view/3398/3040](http://revistas.uptc.edu.co/index.php/ingenieria_sogamoso/article/view/3398/3040)>
- Difracción de rayos X, Universidad Politécnica de Cartagena. Disponible en catalogo en línea:< [https://www.upct.es/~minaees/difraccion\\_rayosx.pdf](https://www.upct.es/~minaees/difraccion_rayosx.pdf) >
- GARZON, T. *Geoquímica y potencial minero asociado a cuerpos volcánicos en la región de Paipa, departamento de Boyacá*, 2003, Tesis de grado, Universidad Nacional de Colombia, Departamento de Geociencias. Bogotá.
- HERNÁNDEZ, G. OSORIO, O. Geología, análisis petrográfico y químico de las rocas volcánicas del suroriente de Paipa, 1990, Tesis de grado, Universidad Nacional de Colombia, Departamento de Geociencias. Bogotá.
- INGEOMINAS, *Informe técnico cartografía geológica y estructural sector sur del Municipio de Paipa*, diciembre 2003, Proyecto de Geodinámica, Ministerio de minas y energía, Bogotá. Disponible en catalogo en línea:  
<[https://www.researchgate.net/publication/305046090\\_Informe\\_tecnico\\_Cartografia\\_geologica\\_y\\_estructural\\_sector\\_sur\\_del\\_municipio\\_de\\_Paipa](https://www.researchgate.net/publication/305046090_Informe_tecnico_Cartografia_geologica_y_estructural_sector_sur_del_municipio_de_Paipa)>
- MAKSAEV, V. *Alteración hidrotermal*, 2001, Universidad de Chile, Departamento de Geología, Santiago.
- MOLINA LARREA, Francisco Xavier. *Modelo para la determinación de actividad puzolánica por correlación entre: difracción de rayos x, y método del cemento*. Ecuador, 2014, Tesis de grado, Universidad de Cuenca, Facultad de Ciencias Químicas, Ecuador. Disponible catalogo en línea:  
<<http://dspace.ucuenca.edu.ec/bitstream/123456789/20935/1/Tesis.pdf>>

MONSALVE, Luisa Maria. ROJAS, Nadia. VELANDIA P, Francisco A. PINTOR, Iraida. MARTINEZ, Fernanda Lina. Caracterización geológica del cuerpo volcánico de Iza, Boyacá, boletín de geología, Volumen 33, Junio de 2011, Boyacá. Disponible en catalogo en línea:

< [HTTP://WWW.SCIELO.ORG.CO/PDF/BOGE/V33N1/V33N1A09.PDF](http://WWW.SCIELO.ORG.CO/PDF/BOGE/V33N1/V33N1A09.PDF)>

Municipio de Iza, *Esquema de Ordenamiento Territorial*; 2003, Iza, Boyacá.

Disponible en catalogo en línea:

<[http://cdim.esap.edu.co/BancoMedios/Documentos%20PDF/e.o.t%20-%20iza%20\(115%20pag%20-%20947%20kb\).pdf](http://cdim.esap.edu.co/BancoMedios/Documentos%20PDF/e.o.t%20-%20iza%20(115%20pag%20-%20947%20kb).pdf)>

MUSTELIER COSTAFREDA, Luis Jorge .RAMOS MILLÁN, Alberto. PARRA, Luis Jorge. *Estudio de las propiedades puzolánicas de las rocas volcánicas del monte basilé, república de guinea ecuatorial, y sus aplicaciones como puzolanas para la sustitución del cemento en las mezclas de morteros, 2012*, III Congreso Nacional De Áridos. X Jornadas Iberoamericanas De Materiales De Construcción, Cáceres, Departamento de Ingenieria Geologica, España. Disponible en catalogo en línea:

< [http://oa.upm.es/11663/1/Jorge\\_Costafreda\\_Mustelier\\_Trabajo\\_Ampliado\\_4.pdf](http://oa.upm.es/11663/1/Jorge_Costafreda_Mustelier_Trabajo_Ampliado_4.pdf)>

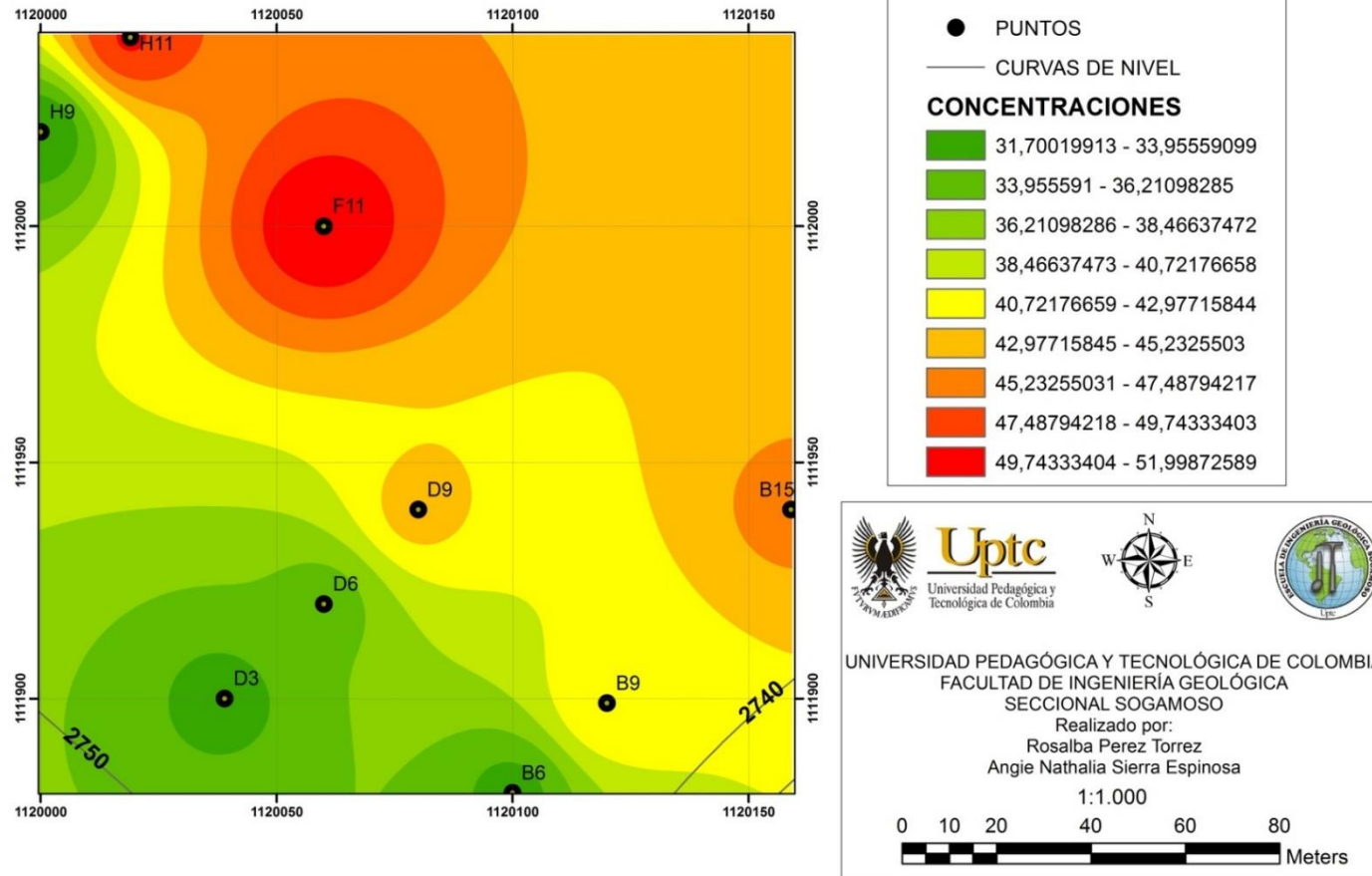
ULLOA, Carlos. E. RODRÍGUEZ, Erasmo. ACOSTA, Jorge. *Geología de la plancha 192 Laguna de Tota*, 2001, memoria explicativa, Ministerio de Minas y Energía, Ingeominas, Boyacá, Disponible en catalogo en línea:

<[http://aplicaciones1.sgc.gov.co/Bodega/i\\_vector/130/10/0100/02291/documento/pdf/0101022911101000.pdf](http://aplicaciones1.sgc.gov.co/Bodega/i_vector/130/10/0100/02291/documento/pdf/0101022911101000.pdf)>

## 7 ANEXOS

### ANEXO A. Clasificación de concentración de material amorfo por DRX

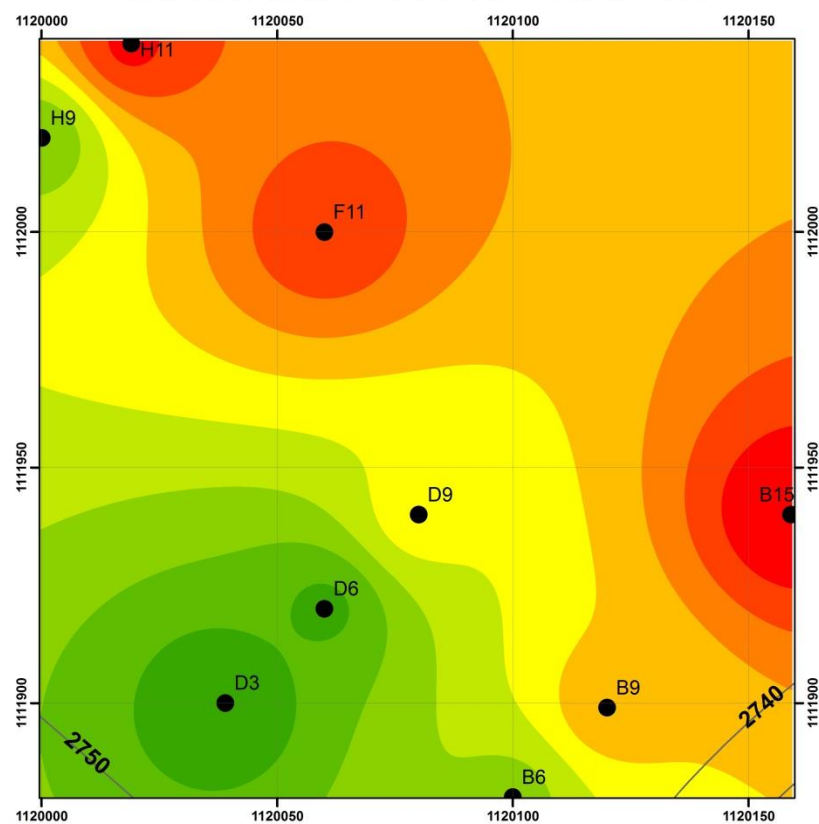
#### MAPA DE CONCENTRACIÓN DE AMORFO EN DRX



Fuente: autores

ANEXO B. Clasificación de concentración de material amorfo por petrografía

**MAPA DE CONCENTRACIÓN DE AMORFO EN  
CLASIFICACIÓN PETROGRÁFICA**



**LEYENDA**

● PUNTOS

— CURVAS DE NIVEL

**CONCENTRACION**

<VALUE>

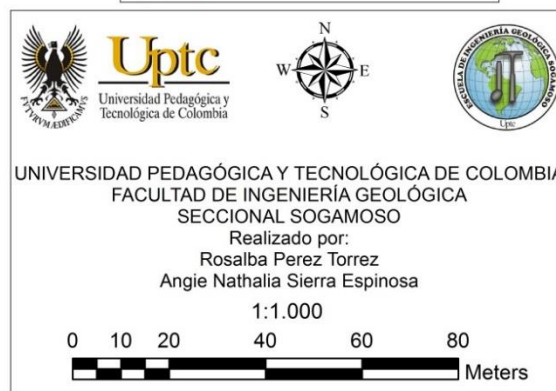
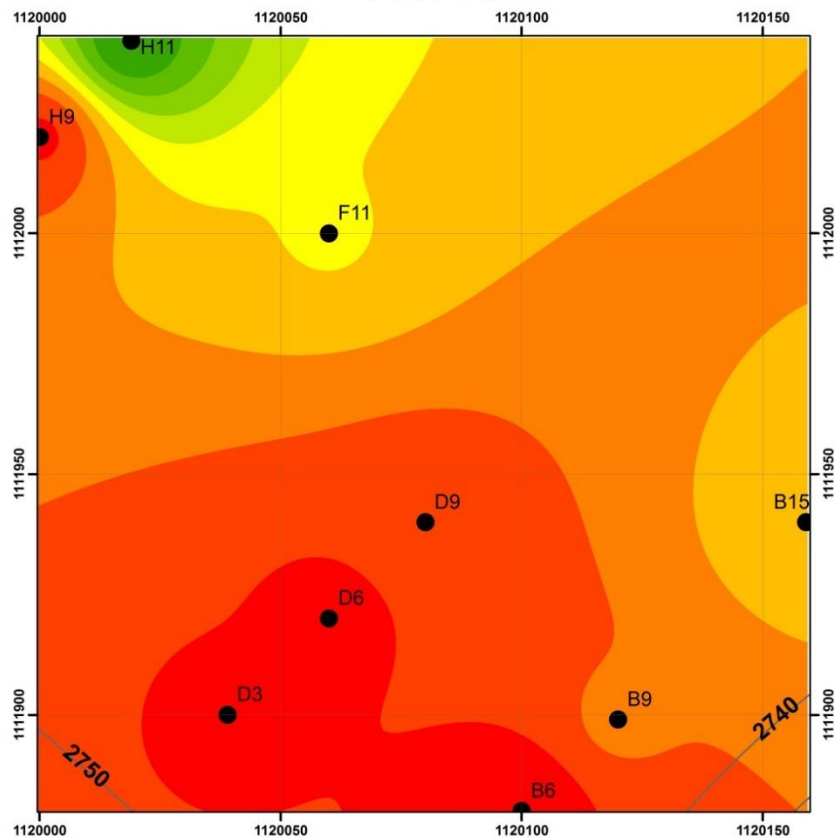
30,0018177 - 32,66822179
32,6682218 - 35,33462588
35,33462589 - 38,00102997
38,00102998 - 40,66743406
40,66743407 - 43,33383814
43,33383815 - 46,00024223
46,00024224 - 48,66664632
48,66664633 - 51,33305041
51,33305042 - 53,9994545



Fuente: autores

ANEXO C. Clasificación de concentración de sílice por DRX

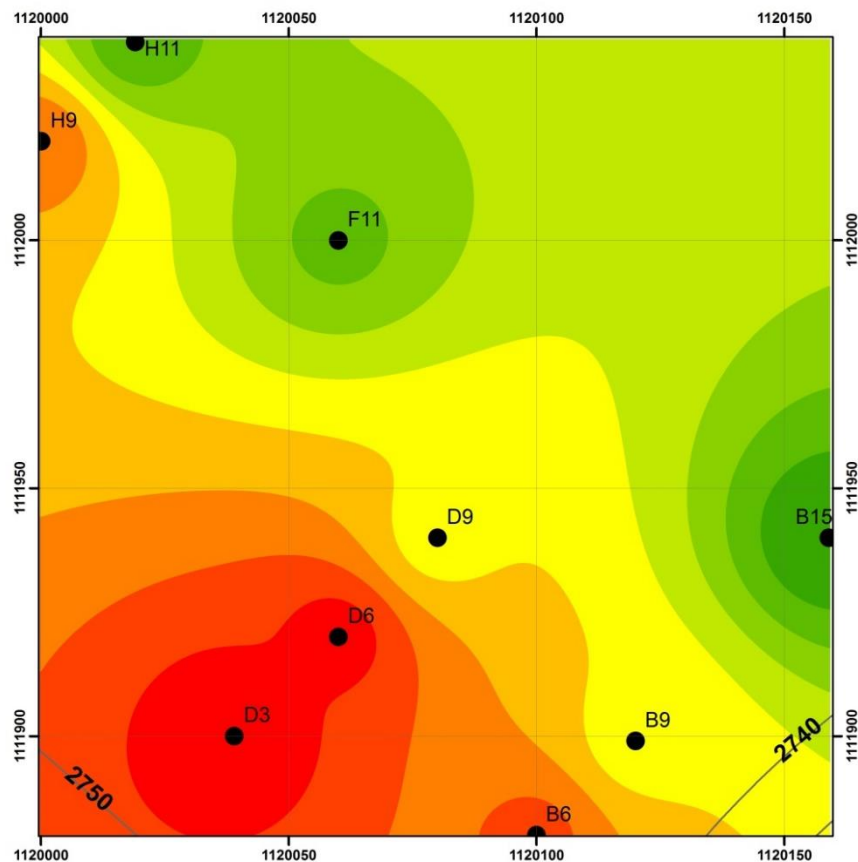
# **MAPA DE CONCENTRACIÓN DE SILICE EN DRX**



Fuente: autores

ANEXO D. Clasificación de concentración de sílice por Petrografía

# **MAPA DE CONCENTRACIÓN DE SÍLICE EN CLASIFICACIÓN PETROGRÁFICA**



## **LEYENDA**

- PUNTOS
- CURVAS DE NIVEL

## **CONCENTRACIONES**

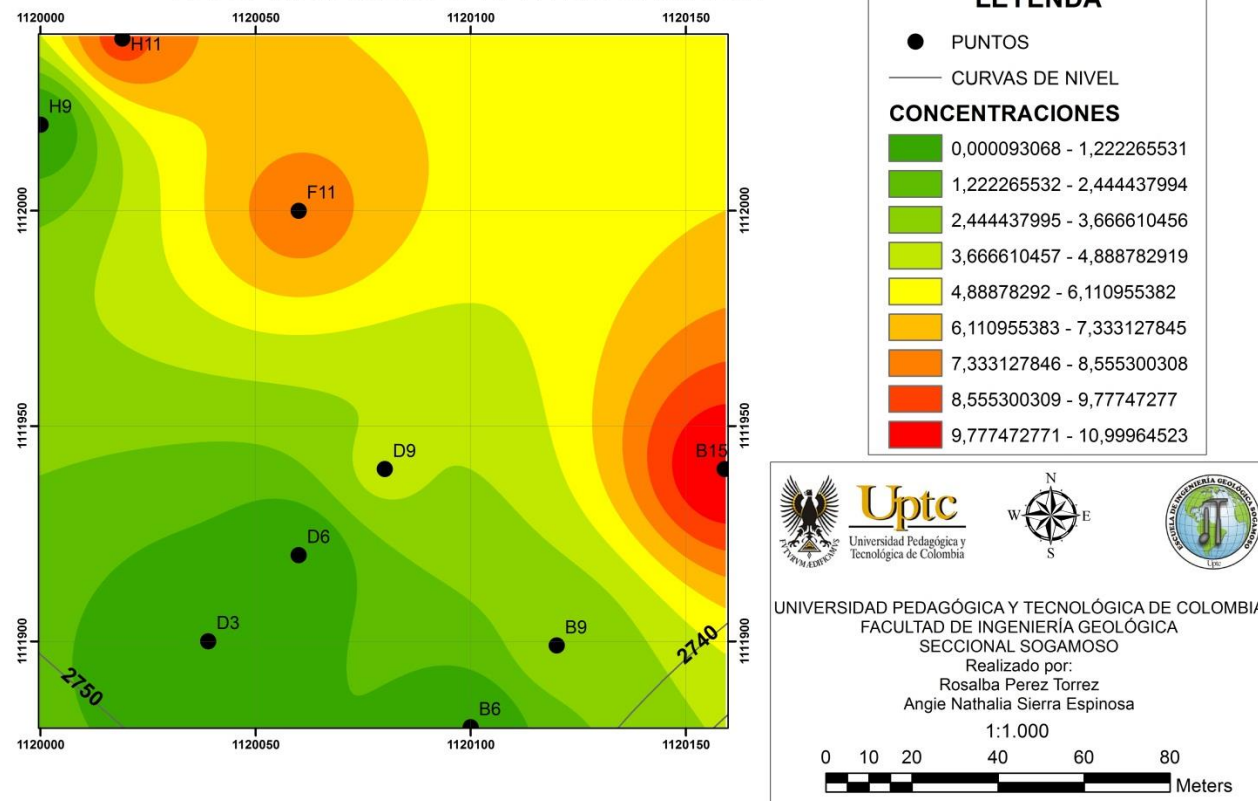
	32,00097656 - 36,22281647
	36,22281648 - 40,44465637
	40,44465638 - 44,66649628
	44,66649629 - 48,88833618
	48,88833619 - 53,11017609
	53,1101761 - 57,33201599
	57,332016 - 61,5538559
	61,55385591 - 65,7756958
	65,77569581 - 69,99753571



Fuente: autores

## ANEXO E. clasificación de concentración de material arcilloso por Petrografía

### MAPA DE CONCENTRACIÓN DE MATERIAL ARCILLOSO EN CLASIFICACIÓN PETROGRÁFICA

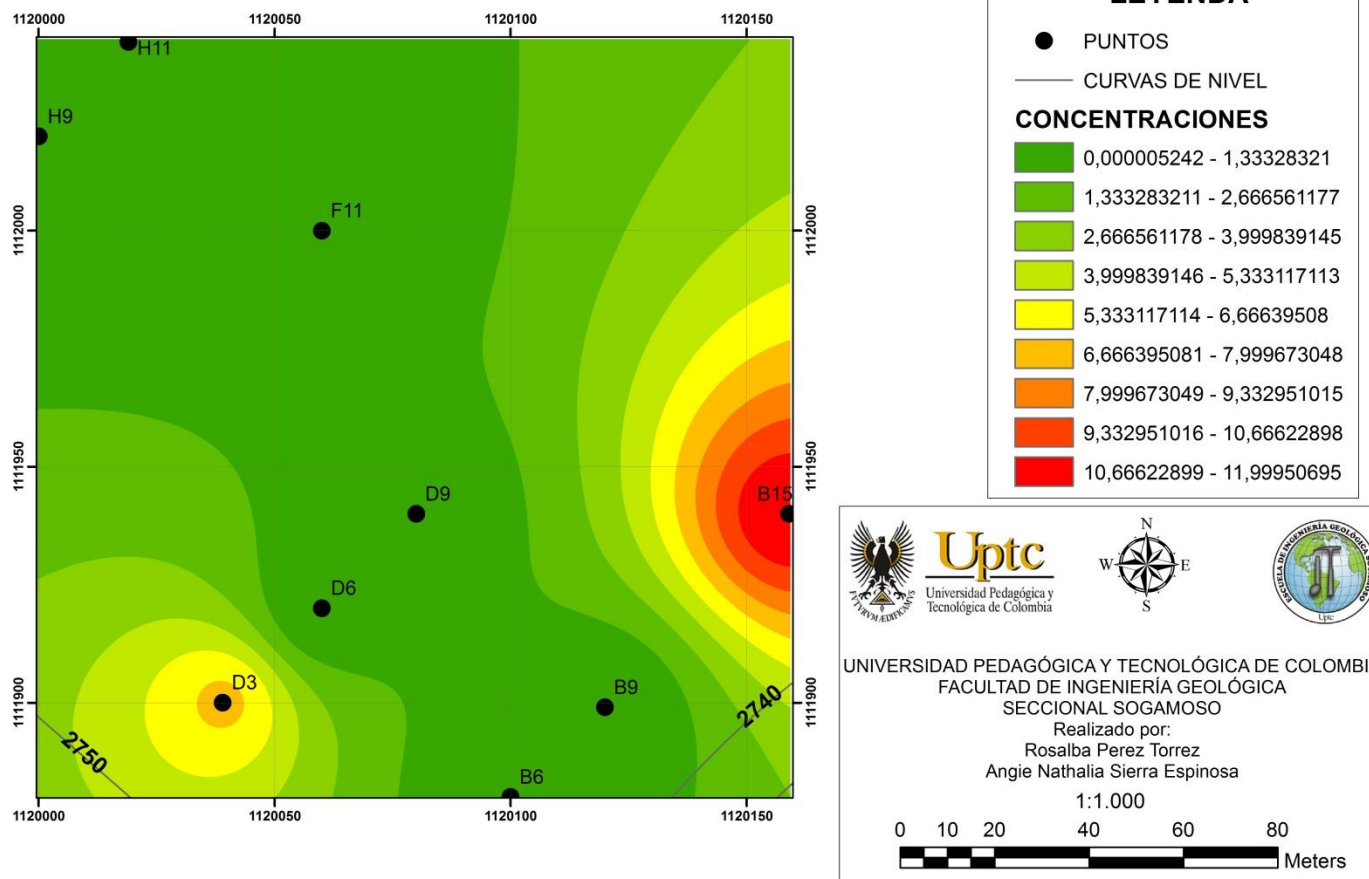


fuelle: autores



ANEXO F. clasificación de concentración de material arcilloso por DRX

**MAPA DE CONCENTRACIÓN DE MATERIAL ARCILLOSO  
EN DRX**



Fuente: autores



